

Vurdering af grundvandsmagasiners nitratsårbarhed

Birgitte Hansen, Anne Mette Nielsen,
Claus Holst Iversen og Verner Søndergaard

G E O - V E J L E D N I N G 5



Vurdering af grundvandsmagasiners nitratsårbarhed

Birgitte Hansen, Anne Mette Nielsen, Claus Holst Iversen og Verner Søndergaard

DE NATIONALE GEOLOGISKE UNDERSØGELSER FOR DANMARK OG GRØNLAND
KLIMA- OG ENERGIMINISTERIET



Vurdering af grundvandsmagasiners nitratsårbarhed
Geo-Vejledning 5

Særudgivelse

Omslag: Henrik Klinge
Repro: GEUS
Oplag: 100

Maj 2009

ISBN Tryk: 978-87-7871-246-2
 Web: 978-87-7871-247-9

Vejledningen kan hentes på nettet: www.geus.dk
Pris (indbundet) : 200 kr.

© De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland, GEUS
 Øster Voldgade 10
 DK-1350 København K
 Telefon: 38142000
 E-post: geus@geus.dk

Udarbejdet i samarbejde med By- og Landskabsstyrelsen, Miljøministeriet.

Indholdsfortegnelse

1.	Indledning	6
2.	Anbefalinger	7
2.1.	Nitratfølsomme indvindingsområder og nitratsårbarhed	7
2.2.	Sammenhæng mellem nitratfølsomme indvindingsområder og indsatsområde mht. nitrat	9
2.3.	Indsatsplanlægningen	11
2.4.	Temaer i plangrundlaget.....	11
2.5.	Opdateringsfrekvens af udpegningerne.....	12
2.6.	Dokumentation for udpegningerne	12
3.	Vurdering af nitratsårbarhed	13
3.1.	Formål	13
3.2.	Hvornår er grundvandsmagasinet nitratsårbart?	13
3.3.	Karakteristika ved et nitratfølsomt indvindingsområde	14
3.4.	Sammentolkning af data	19
3.5.	Dokumentation og formidling af vurderingen af nitratsårbarheden	31
4.	Referencer	35
	Appendix 1: Nitratsårbarhed af kalkmagasiner under østdanske forhold	37

1. Indledning

Ifølge Miljømålsloven (MST, 2006) skal den detaljerede grundvandskortlægning bl.a. resultere i udpegninger af nitrutfølsomme områder og indsatsområder mht. nitrat samt vurdering af nitratsårbarheden. Der er behov for nye fælles retningslinier for at denne opgave kan løses ensartet af miljøcentrene.

Siden 2000 har Zoneringsvejledningen (MST, 2000) dannet grundlaget for udpegningerne og vurdering af sårbarheden. Denne vejledning er stadig gældende.

Grundvandsmagasiners sårbarhed er ikke en veldefineret størrelse, som kan kortlægges og gælde for alle typer af påvirkning under ét. Sårbarhed er ikke en generel men en stofspecifik størrelse, der evt. kan gælde for en afgrænset gruppe af stoffer med fælles egenskaber.

Med hensyn til nitrat er det muligt på det nuværende vidensgrundlag at lave en stofspecifik udpegning som beskrevet i Zoneringsvejledningen (MST, 2000).

Denne rapport fokuserer på grundvandsmagasiners nitratsårbarhed, som er en central opgave i den afsluttende del af den Nationale Grundvandskortlægning. Sårbarhed over for andre stoffer eller stofgrupper er det derfor valgt ikke at behandle i denne rapport.

Denne rapport tager udgangspunkt i statusrapporten for amternes udpegninger af nitrutfølsomme indvindingsområder og indsatsområder mht. nitrat (Hansen m.fl., 2008). I kapitel 2 gives anbefalinger fra GEUS til en begrebsafklaring, og til hvordan retningslinierne for udpegninger af nitrutfølsomme indvindingsområder og indsatsområder mht. nitrat kan præciseres og forenkles. Kapitel 3 indeholder anvisningerne til sammentolkning af data og vurdering af nitratsårbarheden samt dokumentation og formidling af resultaterne. I appendix 1 er medtaget et eksempel på vurdering af nitratsårbarhed for kalkmagasiner under østdanske forhold.

Denne rapport er udarbejdet af GEUS, Klima – og Energiministeriet, i samarbejde med By- og Landskabsstyrelsen, Miljøministeriet.

2. anbefalinger

Det er vigtigt at præcisere, at udpegningen af nitratfølsomme indvindingsområder, vurdering af nitratsårbarheden og udpegningen af indsatsområderne mht. nitrat skal *sikre nuværende og fremtidige drikkevandsressourcer mulighed for en maksimal beskyttelse*. Udpegningerne skal derfor foretages på et solidt fagligt grundlag som allerede beskrevet i Zoneringsvejledningen (MST, 2000).

Erfaringerne fra detailkortlægningen i amterne danner grundlag for anbefalinger til den fremtidige praksis i miljøcentrene med hensyn til vurdering af nitratsårbarheden og udpegning af indsatsområder mht. nitrat.

Zoneringsvejledningen (MST, 2000) danner fortsat grundlaget for vurderingen af grundvandsmagasiners nitratsårbarhed og udpegningerne af nitratfølsomme indvindingsområder.

Intentionen med dette kapitel er at give anbefalinger til løsning af udvalgte vigtige problemstillinger. Der vil blandt andet blive peget på, hvordan detailkortlægningens retningslinier for udpegning af nitratfølsomme indvindingsområder, herunder vurdering af nitratsårbarheden og udpegning af indsatsområder mht. nitrat, kan præciseres og forenkles. Det er vigtigt, at tidligere viden og erfaringer fra detailkortlægningen udnyttes fuldt ud, og at de fremtidige udpegninger i miljøcentrene bliver så ensartede som muligt og funderet på det samme faglige grundlag.

2.1 Nitratfølsomme indvindingsområder og nitratsårbarhed

Anbefaling 1 – Nitratfølsomme indvindingsområder:

Nitratfølsomme indvindingsområder (NFI):

Nitratfølsomme indvindingsområder er en del af Områder med Særlige Drikkevandsinteresser (OSD) eller indvindingsoplande til almene vandværker udenfor OSD, hvor grundvandsmagasinerne er vurderet til at være nitratsårbare.

Nitratfølsomme indvindingsområder kan være udpeget på baggrund af eksisterende data i forbindelse med regionplanerne, eller data fra detailkortlægningen. Når detailkortlægningen er afsluttet i alle OSD, må det forventes, at alle nitratfølsomme indvindingsområder vil være udpeget på baggrund af detailkortlægningen.

Med anbefaling 1 foreslås en ensartet brug af det centrale begreb "nitratfølsomhed", som knytter sig til selve udpegningerne. Statusrapporten for amternes udpegninger af nitratfølsomme indvindingsområder og indsatsområder mht. nitrat (Hansen m.fl., 2008) viste at flere amter havde opfundet nye begreber i forhold til anvisningerne i Zoneringsvejledningen. Det er vigtigt at synonymerne afskaffes, så udpegningerne fremover bliver mere ensrettede i hele landet, og sådan at der ikke kan opstå tvivl om, hvad udpegningerne dækker.

Anbefaling 2 – Status for detailkortlægningen

Det anbefales, at der laves en arealinformation, som viser status for hvor stor en del af OSD og indvindingsoplande til almene vandværker, der er detailkortlagt, hvor der indeles i kategorierne:

- 1) Status for detailkortlægningen: færdigt,
- 2) Status for detailkortlægningen: påbegyndt
- 3) Status for detailkortlægningen: ikke kortlagt

Udpegningerne af *nitratsfølsomme indvindingsområder* sammenholdt med *status for detailkortlagte arealer*, gør det muligt at få viden om, hvor de nitratsfølsomme indvindingsområder er udpeget på baggrund af eksisterende data, og hvor de nitratsfølsomme indvindingsområder er udpeget på baggrund af resultater fra detailkortlægningen. På denne måde synliggøres resultaterne fra detailkortlægningen til brug i den offentlige administration, da sikkerheden i udpegningen af de detailkortlagte nitratsfølsomme indvindingsområder er større end de nitratsfølsomme indvindingsområder udpeget i regionplanerne.

Samtidig er det også muligt at få viden om, hvor resultaterne fra detailkortlægningen har medført, at områderne ikke er blevet udpeget som nitratsfølsomme indvindingsområder, hvilket også kan være nyttig information i den offentlige administration.

Anbefaling 3 - Nitratsårbarhed:

Nitratsårbare grundvandsmagasiner er grundvandsmagasiner med stor og nogen nitratsårbarhed jf. Zoneringsvejledningen (MST, 2000) vurderet på baggrund af detailkortlægningen.

Ikke-nitratsårbare grundvandsmagasiner er grundvandsmagasiner med lille nitratsårbarhed jf. Zoneringsvejledningen (MST, 2000) vurderet på baggrund af detailkortlægningen.

Med anbefaling 3 foreslås det, at begrebet "nitratsårbarhed" kun bruges i forbindelse med vurderingen af grundvandsmagasineres sårbarhed, mens begrebet "nitratsfølsomhed" kun knytter sig til selve udpegningerne (anbefaling 1).

Det anbefales at nogen og stor nitratsårbarhed slås sammen, se tabel 5.1 i Zoneringsvejledningen (MST, 2000). Dermed vil detailkortlægningen fremover bestå i en vurdering af, om grundvandsmagasinet er nitratsårbart (med nogen og stor nitratsårbarhed) eller ikke-nitratsårbart (med lille nitratsårbarhed). Dette vil blive beskrevet yderligere i kapitel 3, som indeholder en detaljeret gennemgang af vurderingen af grundvandsmagasineres nitratsårbarhed.

Anbefaling 3 begrundes med at *nogen nitratsårbarhed* på forskellig vis har indgået i udpegningerne i amterne. Desuden har amternes detailkortlægning vist, at der ikke i alle tilfælde er et tilstrækkeligt datagrundlag til at kunne skelne mellem 3 klasser (stor, nogen og lille nitratsårbarhed) i vurderingen af grundvandsmagasineres nitratsårbarhed (Hansen m.fl., 2008).

2.2 Sammenhæng mellem nitrutfølsomme indvindingsområder og indsatsområde mht. nitrat

Et indsatsområde mht. nitrat udpeges på baggrund af en vurdering af arealanvendelsen, forureningstrusler og den naturlige beskyttelse af vandressourcerne, hvor det er nødvendig med en særlig indsats til beskyttelse af vandressourcerne for at sikre drikkevandsinteresserne jf. lov nr. 1402 af 27/10/2008 § 8 a.

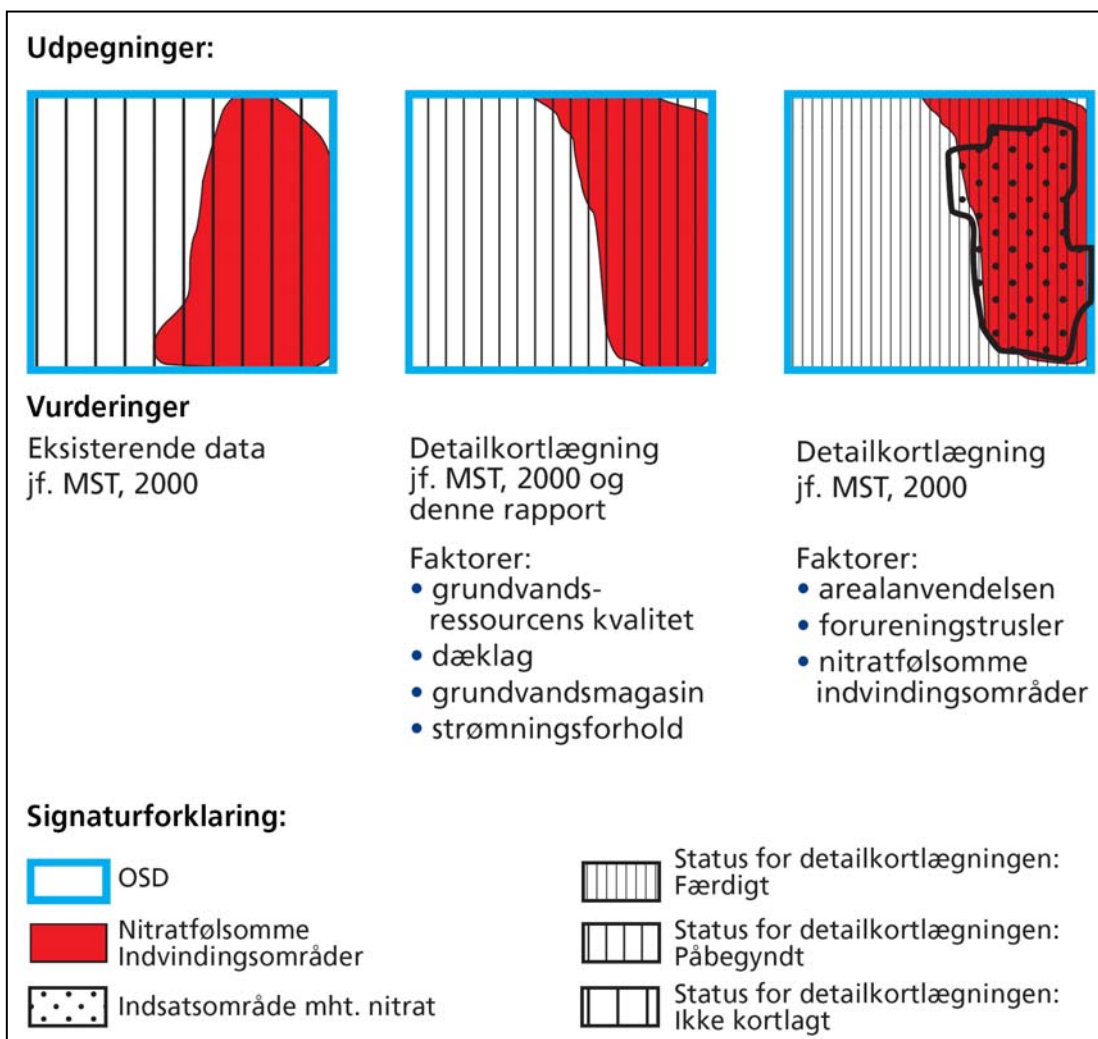
Anbefaling 4 – Indsatsområde mht. nitrat:

Det anbefales, at der i udpegningen af indsatsområder mht. nitrat i stor grad tages hensyn til den naturlige beskyttelse af vandressourcerne og dermed de udpegede nitrutfølsomme indvindingsområder.

Det er vigtigt, at der i udpegningen af indsatsområder mht. nitrat medtages så stor en andel af de udpegede nitrutfølsomme indvindingsområder som muligt for at sikre beskyttelse af de nuværende og fremtidige drikkevandsressourcer. Det er afgørende, at de udpegede indsatsområder mht. nitrat skal sikre beskyttelsen af grundvandet i mange år fremover. En indsatsplan som kun medtager de arealer, hvor den nuværende arealanvendelse og nitratudvaskning er kritisk, kan vise sig at være kortsigtet. Der kan hurtigt ske strukturelle ændringer i landbruget f.eks. som det er sket med hensyn til den permanente ophævelse af braklægningsordningen, som EU-landene vedtog i 2008. Braklægning indgår i mange indsatsplaner som et virkemiddel til grundvandsbeskyttelse i de nitrutfølsomme indvindingsområder. Det vurderes at 80.000-120.000 ha af de 148.000 ha (2007 tal) udtagningspligtige braklagte arealer vil medføre en forøgelse af nitratudvaskningen samt en forøgelse af emissionen af ammoniak og pesticidforbruget på omdriftsjorden (DJF, DMU og FØI, 2008). Ophævelse af braklægningsordningen kan derfor medfører at den ønskede grundvandsbeskyttelse, i indsatsplaner med brak som virkemiddel, ikke kan opnås.

I forbindelse med udpegningen af indsatsområder mht. nitrat er det meget vigtigt, at arealanvendelsen og forureningstruslen inden for de udpegede nitrutfølsomme indvindingsområder giver anledning til en kritisk vurdering af nitratudvaskningen. Dette er særligt vigtigt på nuværende og potentielle landbrugsarealer, da det hovedsagelig er disse arealer, der er kilden til nitratforurening af grundvandet.

På figur 1 er den kronologiske arbejdsgang skitseret for vurdering af nitratsårbarheden, udpegning af nitrutfølsomme indvindingsområder og indsatsområder mht. nitrat i forhold til status for detailkortlægningen.



Figur 1 Arbejdsgangen med vurdering af nitratsårbarhed og udpegning af nitratfølsomme indvindingsområder og indsatsområder mht. nitrat i forhold til status for detailkortlægningen.

Anbefaling 5 – Afgrænsning af områder:

Nitratfølsomme indvindingsområder: Det anbefales, at der ved udpegningen af nitratfølsomme indvindingsområder bruges "bløde" linier og ikke tages hensyn til brugsgrænser (ejendoms- eller matrikelgrænser).

Indsatsområder mht. nitrat: Det anbefales, at der ved udpegningen af indsatsområder mht. nitrat tages hensyn til brugsgrænser, ejendoms- eller matrikelgrænser. F. eks. kan markskel, veje og lignende anvendes i afgrænsningen. Disse kan ses på luftfotos.

Afgrænsningen af de områder, hvor der er behov for at gennemføre en indsats for at beskytte grundvandet, vil som regel følge brugsgrænser, ejendoms- eller matrikelgrænser. Dog vil afgrænsningen af de nitratfølsomme indvindingsområder næppe følge disse grænser, og det vil være nødvendigt at tage lidt større eller lidt mindre arealer med ved udpegning af indsatsområder mht. nitrat.

Nitratfølsomme indvindingsområders afgrænsning fastlægges af detailkortlægningens resultater, der afgør hvor de bløde grænser kommer til at ligge. Indsatsområder mht. nitrat afgrænses på baggrund af beliggenheden af de nitratfølsomme indvindingsområder med hensyn til de førnævnte brugsgrænser.

2.3 Indsatsplanlægningen

I forbindelse med kommunernes indsatsplanlægning og den øvrige sagsbehandling er der brug for udvikling af retningslinier til vurdering af den nødvendige indsats i forhold til at begrænse nitratudvaskningen inden for et indsatsområde mht. nitrat. Dette er nødvendigt for at sikre, at indsatsplanlægningen i kommunerne og sagsbehandlingen i øvrigt bliver foretaget på et ensartet fagligt grundlag, og at grundvandsbeskyttelsen bliver så optimal som muligt.

Anbefaling 6 – Retningslinier for indsatsplanlægning:

Det anbefales, at der udarbejdes retningslinier for estimering af nitratudvaskningen fra arealanvendelsen i nitratfølsomme indvindingsområder. Retningslinierne bør bygge på eksisterende viden og værktøjer. Retningslinierne skal bruges ved udpegning af indsatsområder mht. nitrat og skal kunne anvendes på matrikel, mark, bedrift og oplands niveau.

Udarbejdelse af retningslinier i forhold til anbefaling 6 bør iværksættes som et samarbejdsprojekt mellem f.eks. Kommuner, De Statslige Miljøcentre, Landbrugets Rådgivningscenter, DJF (Det Jordbrugsvidenskabelige Fakultet, Århus Universitet), DMU (Danmarks Miljøundersøgelser, Århus Universitet) og GEUS.

2.4 Temaer i plangrundlaget

Anbefaling 7 – Temaer i plangrundlag:

Det anbefales, at følgende udpegninger fra detailkortlægningen alle indgår i plangrundlaget ved brug af forskellige signaturer i grafiske fremstillinger:

1. OSD og oplande til almene vandværker uden for OSD
2. Nitratfølsomme indvindingsområder
3. Status for detailkortlægningen
4. Indsatsområde mht. nitrat.

I regionplanerne fra 2005 indgik temaet *nitratfølsomme indvindingsområder*, som blev introduceret i regionplanerne fra 2001. Amterne valgte at lade resultaterne fra de detailkortlagte områder indgå på forskellig vis i regionplanerne. Nogle amter erstattede de udpegede detailkortlagte nitratfølsomme områder med de udpegede indsatsområder mht. nitrat, mens andre viste begge temaer. Ligeledes valgte nogle amter at tydeliggøre de detailkortlagte nitratfølsomme indvindingsområder med særskilt signatur.

Med anbefaling 7 vil resultaterne fra miljøcentrenes detailkortlægning blive synliggjort på en ensartet måde, og det vil fremgå tydeligt, hvor der findes detaljerede oplysninger, som skal anvendes i den offentlige administration.

2.5 Opdateringsfrekvens af udpegningerne

I dataansvarsaftalen af 3. december 2007 beskrives det, at der skal ske en løbende opdatering af en række arealudpegninger på Danmarks Miljøportal.

Anbefaling 8 – Opdateringsfrekvens af udpegninger:

Det anbefales at følgende udpegninger ajourføres minimum hvert ½ år på Danmarks Miljøportal som led i den løbende opdatering:

1. OSD og indvindingsoplande til almene vandværker uden for OSD
2. Nitratfølsomme indvindingsområder
3. Status for detailkortlægningen
4. Indsatsområder mht. nitrat.

Desuden anbefales det, at udpegningerne medtages i miljøcentrenes vandplaner og kommunernes handleplaner, som opdateres hvert 6. år.

Udpegningerne vil blive indarbejdet i det offentlige plangrundlag hvert 6. år. En 6-årig opdateringsfrekvens vil ikke være tilstrækkelig i forhold til, at den offentlige administration skal baseres på den nyeste viden. Derfor skal udpegningerne løbende opdateres på Danmarks Miljøportal, og det anbefales, at dette som minimum sker hvert ½ år.

2.6 Dokumentation for udpegningerne

Der er behov for en forbedret dokumentation af udpegningerne.

Anbefaling 9 - Dokumentation:

Det anbefales, at udpegningen af de nitratfølsomme indvindingsområder og vurderingen af nitratsårbarheden fremover dokumenteres som beskrevet i kapitel 3.

Det er desuden vigtigt, at der bliver udarbejdet signaturer og metadata samt forklaringer på anvendelsen af temaerne: nitratfølsomme indvindingsområder og indsatsområder mht. nitrat.

3. Vurdering af nitratsårbarhed

Resultaterne fra amternes detailkortlægning har vist, at der er et stort behov for anvisninger til, hvordan data skal sammentolkes i forbindelse med vurderingen af nitratsårbarheden i OSD og indvindingsoplande (Hansen m.fl., 2008). Ligeledes er der brug for anvisninger til, hvordan vurderingen af nitratsårbarheden kan dokumenteres og formidles til f.eks. kommuner og vandværker, som skal arbejde videre med indsatsplanlægningen. Dette kapitel vil derfor fokusere på 2 aspekter i forbindelse med sårbarhedsvurderingen, der ligger til grund for udpegningen af nitrاتفølsomme indvindingsområder og indsatsområder mht. nitrat:

1. Sammentolkning af data inkl. sammenstilling og forenkling af komplekse datainformationer i forbindelse med vurdering af nitratsårbarheden
2. Dokumentation og formidling for vurderingen af nitratsårbarheden

Zoneringsvejledningen (MST, 2000) danner grundlaget for vurderingen af grundvandsmagasiners nitratsårbarhed og udpegningerne af nitrاتفølsomme indvindingsområder. I dette kapitel præciseres retningslinierne fra zoneringsvejledningen.

3.1 Formål

Formålet med den Nationale Grundvandskortlægning er at sikre mulighed for en effektiv og målrettet beskyttelse af nuværende og fremtidige drikkevandsressourcer. Dette formål opfyldes ved identifikation og udpegning af nitrاتفølsomme indvindingsområder og indsatsområder mht. nitrat, som er de områder, hvor der er behov for en indsats i forhold til arealanvendelse for at beskytte grundvandet mod forurening med nitrat. Dette kræver en vurdering af grundvandsmagasinet sårbarhed overfor nitrat.

3.2 Hvornår er grundvandsmagasinet nitratsårbart?

I forhold til anbefalingerne i kapitel 2 skal det vurderes, om grundvandsmagasinet er *nitratsårbart* eller *ikke-nitratsårbart*. Nitratsårbare grundvandsmagasiner er grundvandsmagasiner med stor og nogen nitratsårbarhed, mens ikke-nitratsårbare grundvandsmagasiner er grundvandsmagasiner med lille nitratsårbarhed i forhold til definitionerne fra Zoneringsvejledningen.

Tabel 1 beskriver hvilke faktorer, der skal beskrives og sammentolkes for at kunne vurdere et grundvandsmagasins nitratsårbarhed. Nitratsårbarheden kan opfattes som en funktion af følgende 4 faktorer:

Nitratsårbarhed er en funktion af:

- Grundvandsressourcens kvalitet,
- Egenskaber ved dæklag,
- Egenskaber ved grundvandsmagasin og
- Strømningsforholdene.

Tabel 1 beskriver hvilke indikationer om grundvandsressourcens kvalitet, egenskaber ved dæklag og grundvandsmagasin og strømningsforhold, der er betydende for vurderingen af nitratsårbarheden.

Vurderingen af nitratsårbarheden er en samlet helhedsvurdering som består i en afvejning af betydningen af de 4 faktorer. Vægtningen af hver af de 4 faktorer for vurderingen af nitratsårbarheden er afhængig af den lokale geologiske opbygning af kortlægningsområdet. Det skal pointeres, at det er vigtigt, at informationer om alle 4 faktorer indgår i vurderingen af nitratsårbarheden af et grundvandsmagasin.

Grundvands- magasinets sårbarhed NY	Nitrat- sårbarhed (MST, 2000)	Egenskaber af lerdæklag og grundvandsmagasin			Grundvands- ressourcens kvalitet	Grundvands- dannelse og gradient
Ikke-nitrat- sårbart	Lille	Dæklag har god nitrat- reduktions- kapacitet eller	Lerdæklag > 15 m eller	Reduceret magasinbjergart med god nitrat- reduktions- kapacitet	Reduceret ikke- nitatholdigt grundvand Vandtype C og D	Ingen eller lille grundvands- dannelse Gradient: opadrettet
Nitratsårbart	Nogen	Dæklag er uden større nitrat- reduktions- kapacitet eller	Lerdæklag 5 - 15 m eller	Reduceret magasinbjergart	Svagt reduceret grundvand med en ustabil vandkvalitet Vandtype C med stigende sulfatindhold	Nogen grundvands- dannelse Gradient-forhold: ingen eller svag nedadrettet
	Stor	Dæklag er helt oxideret eller	Lerdæklag < 5 m og	Magasin- bjergart er uden større nitrat- reduktions- kapacitet	Nitatholdigt grundvand Vandtype A og B	Stor grundvands- dannelse Gradient: Nedadrettet

Tabel 1. Faktorer til vurdering af et grundvandsmagasins nitratsårbarhed.

3.3 Karakteristika ved et nitratfølsomt indvindingsområde

I figur 2 er der vist 5 principsskitser for 5 overordnede problemstillinger mht. vurdering af nitratsårbarheden. Principsskitser er ment som en hjælp og støtte til vurdering af grundvandsmagasinets nitratsårbarhed og udpegning af nitratfølsomme indvindingsområder i et konkret område. De 5 principsskitser repræsenterer 5 situationer, hvor alle 4 faktorer entydigt peger i den samme retning med hensyn til vurdering af nitratsårbarheden.

I et aktuelt kortlægningsområde er det dog ofte nødvendigt at afveje de 4 faktorer (se tabel 1 og næste afsnit) i forhold til hinanden, hvor faktorerne ikke entydigt peger i samme retning med hensyn til nitratsårbarhedsvurderingen. For eksempel skal de præcise angivelser af lertykkelsen i tabel 1 ikke tillægges så stor betydning i nitratsårbarhedsvurderingen i 1) udstrømningsområder, hvor der er en opadrettet gradient eller 2) under østdanske forhold, som beskrevet i appendix 1.

Situation 1

Grundvandsmagasinet udgøres af en reduceret magasinbjergart med god nitratreduktionskapacitet. Grundvandet er dermed nitratfrit og reduceret. Vandtypen er C eller D og vandkvaliteten er stabil med et relativt konstant sulfatindhold.

Dæklagene består af >15 meter ler indeholdende reducerende stoffer med en god nitratreduktionskapacitet som f.eks. organiske aflejringer, pyrit eller Fe(II) forbindelser. Dæklagene er sammenhængende og homogene og yder en god beskyttelse af grundvandsmagasinet.

Nitratfronten er beliggende et godt stykke over grundvandsspejlet typisk i den umættede zone.

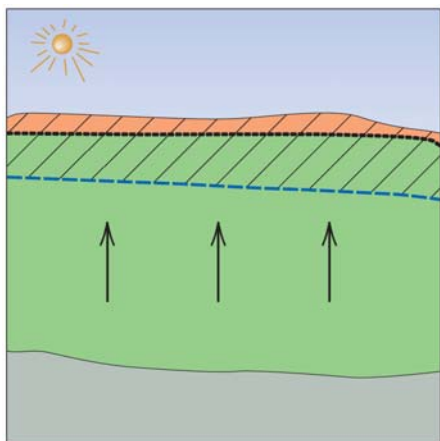
Grundvandsdannelsen vil i disse områder være lille eller ubetydelig, og grundvandets gradient vil ofte være opadrettet.

Grundvandsmagasinet er ikke nitratsårbart og i forhold til definitionerne i Zoneringsvejledningen vil grundvandsmagasinet have en lille nitratsårbarhed.

Området udpeges som et *ikke-nitrutfølsomt indvindingsområde*.

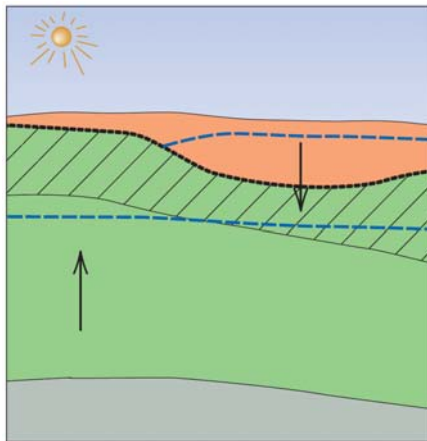
Situation 1

Ikke-nitratfølsomt indvindingsområde



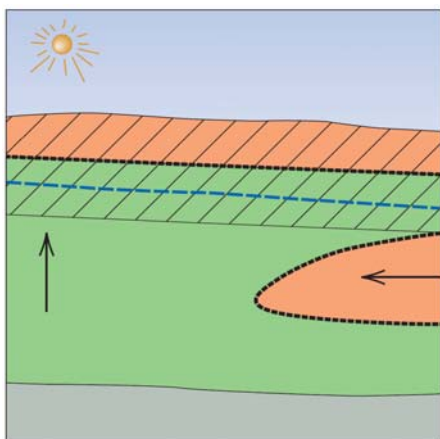
Situation 2

Nitratfølsomt/ikke-nitratfølsomt indvindingsområde



Situation 3

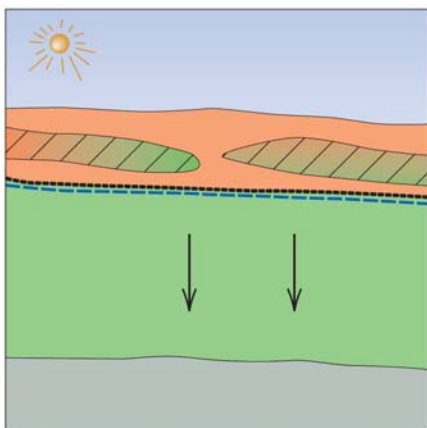
Ikke-nitratfølsomt indvindingsområde



Signaturforklaring:	
-----	Nitratfront
- - - - -	Grundvandsspejl
↓	Strømretning
▨	Lerdæklag
■	Illuede jordlag
■	Reducerede jordlag
■	Bund af magasin

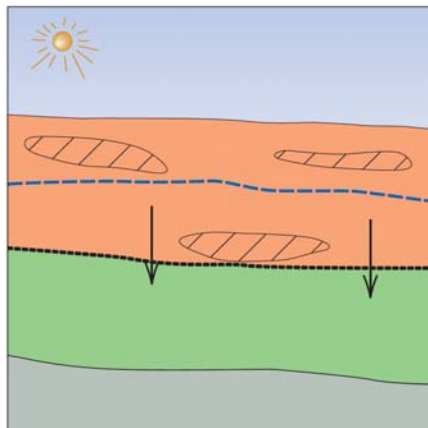
Situation 4

Nitratfølsomt indvindingsområde



Situation 5

Nitratfølsomt indvindingsområde



Figur 2. Vurdering af nitratsårbarhed og udpegning af nitratfølsomme indvindingsområder. De 5 principskitser er forklaret i teksten.

Situation 2

I dette tilfælde er der et dybt og et overfladenært grundvandsmagasin, begge med interesse for indvinding.

Det overfladenære grundvandsmagasin er oxideret, uden større nitratreduktionskapacitet og ubeskyttet af dæklag. Grundvandet i det overfladenære magasin indeholder nitratholdigt grundvand, hvor vandtypen er A eller B.

Det dybe grundvandsmagasin udgøres af en reduceret magasinbjergart med god nitratreduktionskapacitet. Grundvandet er dermed nitratfrit og reduceret. Vandtypen er C eller D og vandkvaliteten er stabil med et forholdsvis konstant sulfatindhold.

Dæklagene, over det dybe magasin, består af >15 meter ler indeholdende reducerende stoffer med en god nitratreduktionskapacitet som f.eks. organiske aflejringer, pyrit eller Fe(II) forbindelser. Dæklagene er sammenhængende og homogene, og yder en god beskyttelse af det dybe grundvandsmagasin.

Nitratfronten er beliggende et godt stykke over grundvandsspejlet for det dybe magasin. Det overfladenære grundvandsmagasin gennemskæres af nitratfronten, og indeholder dermed oxideret grundvand.

Grundvandsdannelsen til det dybe magasin vil i disse områder være lille eller ubetydelig, og grundvandets gradient vil ofte være opadrettet.

Det dybe magasin er ikke nitratsårbart, mens det overfladenære magasin er nitratsårbart.

I forhold til definitionerne i Zoneringsvejledningen vil det dybe magasin have en lille nitratsårbarhed, mens det overfladenære magasin vil have stor nitratsårbarhed.

Udpegningen af nitratfølsomme indvindingsområder vil være afhængig af de nuværende og fremtidige indvindingsinteresser.

Såfremt der er indvindingsinteresser relateret til det overfladenære magasin udpeges området som et *nitratfølsomt indvindingsområde*.

Oftest vil indvindingsinteresserne kun være relateret til det dybe magasin, og området udpeges som et *ikke-nitratfølsomt indvindingsområde*.

Situation 3

I dette tilfælde er der tale om en mere kompleks geologisk opbygning end i situation 1 og 2.

Grundvandsmagasinet udgøres af en reduceret magasinbjergart med god nitratreduktionskapacitet. Grundvandet er dermed nitratfrit og reduceret. Vandtypen er C eller D, og vandkvaliteten er stabil med et forholdsvis konstant sulfatindhold. I en del af magasinet er der observeret en fane af nitratholdigt grundvand (vandtype A eller B) eller reduceret grundvand med et stigende og højt sulfatindhold (vandtype C). Fanen indikerer, at der er en horisontal indstrømning til området.

Dæklagene over magasinet består af >15 meter ler indeholdende reducerende stoffer med en god nitratreduktionskapacitet som f.eks. organiske aflejringer, pyrit eller Fe(II) forbindelser. Dæklagene er sammenhængende og homogene og yder en god beskyttelse af det dybe grundvandsmagasin.

Dog viser tilstedeværelse af den nitratholdige fane, at grundvandsmagasinet har hydraulisk kontakt til overfladenære sandlag (geologisk vindue), som ligger uden for området. Det nitratholdige grundvand i fanen dannes derfor uden for kortlægningsområdet.

Grundvandsdannelsen vil i disse områder være lille eller ubetydelig, og grundvandets overordnede gradientforhold vil ofte være opadrettet. Den nitratholdige fane indikerer dog en horisontal indstrømning til området.

Den nitratholdige fanes tilstedeværelse i grundvandsmagasinet kan skyldes komplekse geologiske forhold i området. Fanen kan også være et resultat af en kraftig indvinding, som trækker yngre nitratholdigt grundvand dybt ind i et ellers velbeskyttet og nitratfrit grundvandsmagasin.

Det reducerede grundvandsmagasin er ikke nitratsårbart, mens fanen er nitratsårbart.

I forhold til definitionerne i Zoneringsvejledningen vil det reducerede grundvandsmagasin have en lille nitratsårbarhed, mens den nitratholdige fane vil have stor nitratsårbarhed.

Området udpeges som et *ikke-nitratfølsomt indvindingsområde*.

Kortlægningen viser, at den nitratholdige fane stammer fra et nærtliggende område, der kan udpeges som *nitratfølsomt indvindingsområde*.

Situation 4

Grundvandsmagasinet udgøres af en reduceret magasinbjergart. Grundvandet er svagt reduceret. Vandtypen er C og vandkvaliteten er sandsynligvis ustabil med et stigende og højt sulfatindhold.

Dæklagene består af 5-15 meter ler eller er uden større nitratreduktionskapacitet. Dæklagene er ikke sammenhængende, og der forekommer sandede overfladenære lag med direkte hydraulisk kontakt til grundvandsmagasinet (geologiske vinduer). Dette skyldes en kompleks og heterogen geologisk opbygning af undergrunden. Samtidig er nitratfronten beliggende tæt på grundvandsspejlet.

Der vil i området være nogen grundvandsdannelse og grundvandsspejlets gradient vil overvejende være nedadrettet.

Grundvandsmagasinet vil have nogen nitratsårbarhed ifølge Zoneringsvejledningen.

Grundvandsmagasinet er derfor nitratsårbart og området udpeges som et *nitratfølsomt indvindingsområde*.

Situation 5

Den øvre del af grundvandsmagasinet er oxideret og generelt uden større nitratreduktionskapacitet. Grundvandsmagasinet indeholder nitratholdigt grundvand med vandtype A eller B.

Dæklagene er gennemiltede eller også forekommer der <5 meter tykke dæklag indeholdende reducerende stoffer. De tynde dæklag kan være sammenhængende over større afstande. Oftest vil heterogeniteten i området være stor og dæklagene være meget usammenhængende på grund af stor hyppighed af overfladenære sandlag (geologiske vinduer) med hydraulisk kontakt til grundvandsmagasinet.

Grundvandsdannelsen vil i disse områder være stor og grundvandets gradient derfor nedadrettet.

Grundvandsmagasinet vil være nitratsårbart og ifølge Zoneringsvejledningen have stor nitratsårbarhed.

Området udpeges som et *nitrutfølsomt indvindingsområde*.

3.4 Sammentolkning af data

Ved vurdering af nitratsårbarheden skal geofysiske, geologiske, hydrologiske og kemiske data sammentolkes.

Grundvandsmagasinerne nitratsårbarhed opfattes som en funktion af følgende 4 betydende faktorer:

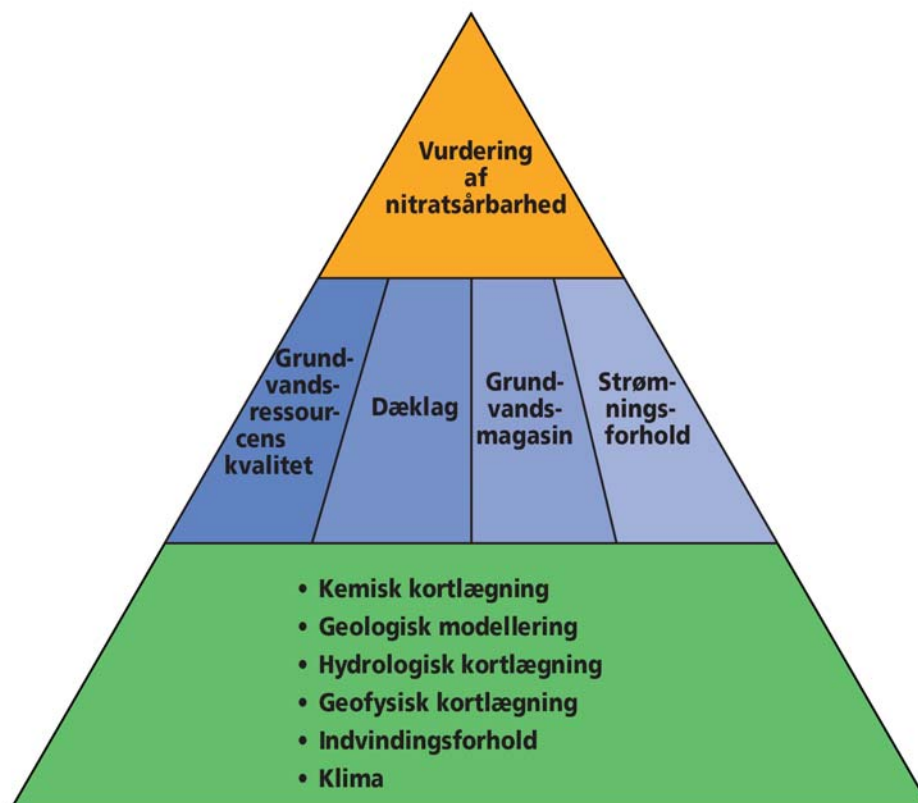
- Drikkevandsressourcens kvalitet,
- Egenskaber ved dæklag,
- Egenskaber ved grundvandsmagasin
- Grundvandets strømningsforhold

Dette er på figur 3 illustreret skematisk i tre trin. Her danner geofysiske, kemiske, hydrologiske og geologiske kortlægningsresultater fundamentet til tolkningen og beskrivelsen af de 4 betydende faktorer: grundvandsressourcens kvalitet, egenskaber ved dæklag, egenskaber ved grundvandsmagasin og grundvandets strømningsforhold, som skal bruges direkte i vurderingen af nitratsårbarheden. I næste afsnit vil de 4 faktorer blive beskrevet.

Det er meget vigtigt, at delresultaterne fra kortlægningen ikke står alene, men tolkes i sammenhæng med alle resultaterne fra de andre fagområder.

Ligeledes er det vigtigt, at alle brugbare og relevante metoder er med i overvejelserne i forbindelse med planlægningen af detailkortlægningen under de forskellige fagområder med henblik på vurdering af nitratsårbarheden. Det er også vigtigt, at alle relevante tolkningsværktøjer indgår i vurderingen af nitratsårbarheden. Her henvises der til eksisterende eller

kommende vejledninger fra de forskellige fagdiscipliner, som ved færdiggørelse kan ses på By-og Landskabsstyrelsens og GEUS' hjemmesider.



Figur 3. Skematisk illustration af sammentolkningen af kortlægningsdata ved vurdering af nitratsårbarheden.

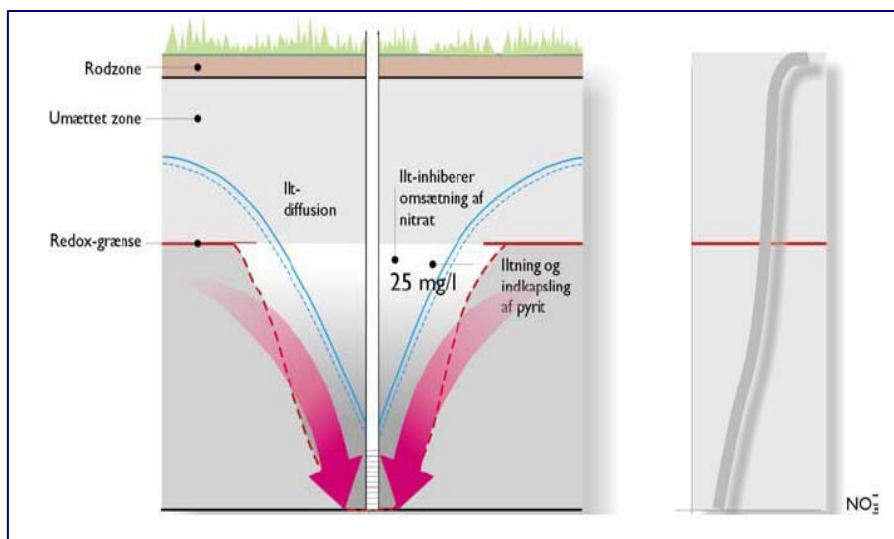
3.4.1 Indvindingsforhold og nedbørsfordeling

Ligesom kortlægningsresultaterne er essentielle for vurderingen af nitratsårbarheden, danner de aktuelle indvindingsforhold, vandforsyningsplaner, nedbørsfordelingen og eventuelle estimeringer af klimaændringer også grundlag for vurderingen af nitratsårbarheden (se figur 4). Flere af disse data indgår indirekte i beskrivelsen af strømningsforholdene.

Vandforsyningsforholdene er vigtige for vurderingen af nitratsårbarheden i tilfælde, hvor indvindingen påvirker de naturlige processer i grundvandsressourcen. Ved kraftig vandindvinding kan omsætningen af nitratreducerende stoffer omkring indvindingsboringen øges udover det naturlige niveau.

I flere kortlægningsområder er der observeret et højt sulfatindhold (> 75 mg/l) som kan forklares med en kraftig indvinding, som forårsager store lokale sænkninger af grundvandsspejlet. Den kraftige indvinding forcerer omsætningen af pyrit i indvindingsboringer-

nes nærhed på grund af en stor gennemstrømning af iltningssmidler som ilt og nitrat ved sænkningstragten. Når pyrit ilttes dannes der sulfat. Dette er forsøgt illustreret i figur 4.



Figur 4. Forceret omsætning af pyrit omkring sænkningstragt (Bay m.fl. 2004).

I forbindelse med sårbarhedsvurderingen er det derfor vigtigt at analysere den rumlige og tidslige udvikling i sulfatindholdet. Et stigende og højt sulfatindhold kan indikere, at nitratreduktionskapaciteten er ved at være opbrugt, og at grundvandet kan udvikle sig til at være nitratholdigt. Derfor repræsenterer et stigende og højt sulfatindhold en ustabil vandkvalitet, som kan betyde, at grundvandsmagasinet er nitratsårbart.

Alderen af grundvandet har også indflydelse på vurderingen af nitratsårbarheden, og kan f.eks. bestemmes med CFC metoden. Aldersfordelingen af vandpartikler i et grundvandsmagasin kan også estimeres ved hjælp af partikelbanesimuleringer med en grundvandsmodel. Her kan scenarieopstillinger med grundvandsmodeller bruges i vurdering af nitratsårbarheden, når indflydelsen fra en fremtidig indvinding skal forudsiges.

3.4.2 Grundvandsressourcens kvalitet

Beskrivelse af grundvandsressourcens kvalitet er et vigtigt led i vurderingen af nitratsårbarheden.

Grundvandsressourcens kvalitet eller grundvandets kemiske sammensætning varierer både i tid og rum og afhænger af følgende overordnede faktorer:

- 1) Det kemiske bidrag fra jordoverfladen (atmosfæriske tilførsel med nedbør og tørdeposition samt tilførsel af antropogene stoffer).
- 2) Vandbalancen og vandets kredsløb (nedbør, fordampning og indvinding).
- 3) De bio-geokemiske processer i rodzone, umættet zone og grundvandsmagasin.

I forbindelse med vurderingen af nitratsårbarheden er det særlig vigtigt, at grundvandets kvalitet beskrives i 4-dimensioner, og at den ikke kun baseres på 2-dimensionelle GIS-kort.

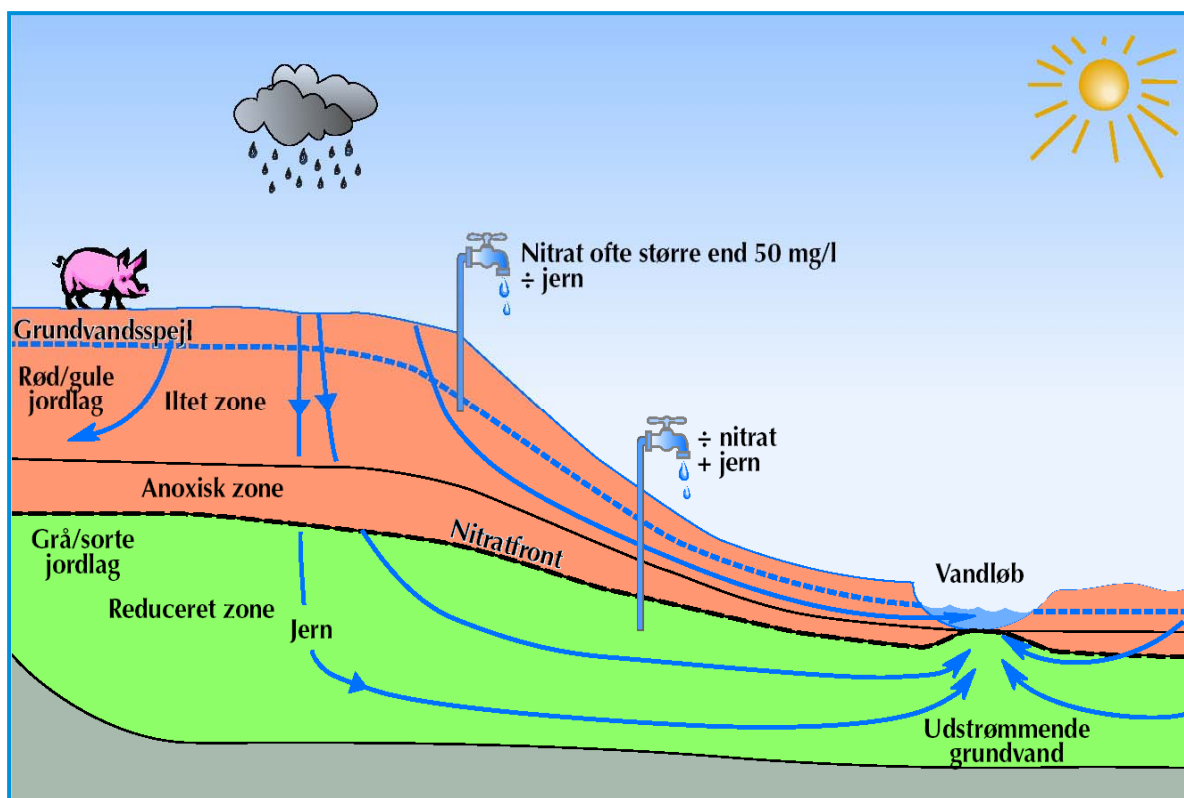
Udover dybden bør den tidslige dimension også inddrages, hvor der er tilstrækkelig med data.

Det er viden om de geokemiske processer i grundvandsmagasinet og estimeringen af nitratreduktionskapaciteten, der har stor betydning for vurderingen af grundvandets nitratsårbarhed.

Tolkning af en vandkemisk analyse kræver, at prøven sættes i sammenhæng med de øvrige faktorer, der er betydende for vurdering af nitratsårbarheden. Tolkningen kræver især hensyntagen til de geokemiske processer, der foregår mellem vandet og sedimentet i undergrunden, men der skal også inddrages geologiske og hydrologiske observationer.

Nitrat i grundvandet

Grundvandets indhold af nitrat er afgørende for bestemmelse af nitratsårbarheden. Tilstedeværelse af nitrat i grundvandet afhænger typisk af, hvor dybt i grundvandsmagasinet en given vandprøve er udtaget. Nitratholdigt vand (> 1 mg nitrat/l) stammer oftest fra den øvre iltede eller anoxiske del af grundvandsmagasinet. I modsætning hertil stammer nitrattfrit (< 1 mg nitrat/l) grundvand oftest fra den nedre reducerede zone i grundvandsmagasinet, da der altid vil være en vis nitratudvaskning fra alle typer arealanvendelse (se figur 5).



Figur 5. Skematisk fremstilling af nitratindeholdet i grundvandet (Århus Amt, 2004). Røde farver illustrerer iltede og anoxiske jordlag, mens grønne farver viser reducerede jordlag.

Når nitratsårbarheden af en grundvandsressource skal vurderes (se tabel 1) så er tilstedeværelsen af nitrat afgørende for vurderingen. Hvis grundvandsressourcen indeholder nitrat (vandtype A eller B) eller hvis grundvandsressourcen har svagt reduceret grundvand med

en ustabil vandkvalitet (vandtype C med et stigende indhold af sulfat ofte > 75 mg/l), så er der positive indikationer for, at området er et nitratfølsomt indvindingsområde.

Grundvandets redoxforhold

Vurderingen af grundvandsmagasinerne nitratsårbarhed skal inkludere en bestemmelse af grundvandets redoxforhold, som er relateret til indholdet af redoxfølsomme kemiske stoffer som bl.a. ilt, nitrat, jern, sulfat, metan og svovlbrinte.

Grundvandets redoxforhold er et resultat af det iltede nedsivningsvands kontakt med undergrundens reducerede sedimenter.

På sin vej til grundvandsmagasinet vil nedsivningsvandets indhold af nitrat bl.a. omsættes til frit kvælstof, hvis det rigtige geokemiske miljø er til stede. Undergrundens sedimenter indeholder indlejret organisk stof, der som udgangspunkt giver et reduceret miljø uden ilt og nitrat. I et reduceret miljø vil der også være pyrit og Fe(II)-forbindelser. Når det ilt- og nitrat-holdige nedsivningsvand siver ned i jorden, iltes den tilgængelige pulje af indlejret organisk stof, pyrit og Fe(II).

Vandtyper

Et overblik over redoxforholdene i et kortlægningsområde kan opnås ved at bestemme vandtypen. I Zoneringsvejledningen (MST, 2000) er der opstillet kriterier for vandtypebestemmelse svarende til vandtype A, B, C og D (se tabel 2), som afhænger af redoxforholdene.

I forbindelse med udarbejdelse af en geovejledning i kemisk kortlægning, som foregår i 2008-2009, vil vandtypebestemmelsen blive præciseret.

Nitratfronten

I gennemiltede lag, som man finder fra terrænoverfladen ned til vekslende dybder, findes der kun meget begrænsede puljer af tilgængelige reducerende stoffer, der kan fjerne nitrat (Ernstsen et al., 2001; Ernstsen, 2005). Grænsen mellem øvre nitrat-holdige jordlag (iltet og anoxisk zone) og dybere reducerede, nitratfrie jordlag, hvor opløst jern og mangan præger grundvandskvaliteten, benævnes nitratfronten.

Nitratfrontens udbredelse afhænger bl.a. af 1) jordlagernes indhold af reaktive nitratreducerende stoffer som organisk stof, pyrit og Fe(II), 2) udvaskningen af nitrat, 3) mængden af infiltrerende vand og den hydrauliske gradient og 4) reaktionskinetik (se bl.a. Ernstsen et al., 2001 og Ernstsen, 2005).

Beliggenheden af nitratfronten i et område kan bestemmes ved at udnytte farvebeskrivelse af jordprøver fra borer. Her kan man anvende farvebeskrivelsen fra nye undersøgelsesboringer eller fra tidligere udførte borer, som er arkiveret i den nationale boringsdatabase Jupiter.

Beskrivelsen af farven på en boreprøve kan afsløre, om prøven stammer fra et niveau, hvor der hersker oxiderede tilstande, eller fra et niveau med reducerede forhold. Brunlige, rødli-

ge og gullige farvenuancer vil normalt indikere oxiderede forhold, medens sorte, grålige og grønne farvenuancer indikerer reducerede forhold.

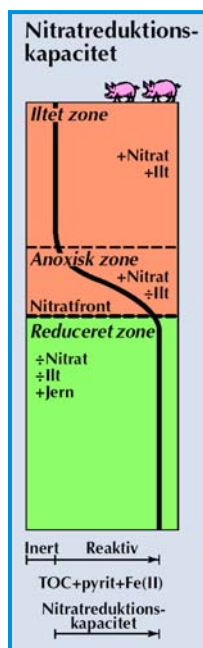
Ved en systematisk gennemgang af et områdes borer i Jupiter-databasen kan der opnås et godt bud på minimumsdybden for oxidationsfronten på de steder, hvor der findes en boring med farveskrivelse af de udtagne jordprøver. Kvaliteten af farvebeskrivelserne kan være svingende, hvilket dels skyldes, at formålet med borerne og beskrivelserne har været forskellige fra boring til boring, dels at farvebestemmelsen er subjektiv. Flere af de yngste undersøgelsesboringer er beskrevet med den mere objektive Munsell farvekode. Ofte ses det på farvebeskrivelserne, at oprindeligt reducerede prøver er iltede inden prøverne er beskrevet af GEUS. Derfor anbefales det at tillægge brøndborens (og boringstilsynet ved undersøgelsesboringer) større vægt end GEUS' farvebestemmelse, som kan være foretaget flere år efter at prøven er udtaget.

I områder med forstyrrede kvartære aflejringer ses ofte flere farveskift i borer med flere skift mellem oxiderede og reducerede zoner. Det anbefales at tillægge den dybeste observerede nitratfront størst vægt i forbindelse med vurderingen af nitratsårbarheden af grundvandsmagasinerne.

Et overblik over dybden til nitratfronten fås ved betragtning af første generation af et landsdækkende kort over dybden til nitratfronten opgjort på 1×1 km grid (se Ernsten et al., 2006). Kortet viser betydelige forskelle i udbredelsen af nitratfronten selv inden for små afstande. Dette pointerer behovet for en nærmere beskrivelse af nitratfrontens beliggenhed i forbindelse med detailkortlægningen.

Nitratreduktionskapaciteten

Nitratreduktionskapaciteten kan defineres som det reaktive tilgængelige indhold af nitratreducerende stoffer som organisk stof, pyrit og Fe (II), og kan beregnes som et forbrug per år per meter (se figur 6). Det reaktive tilgængelige indhold vil udgøre forskellen mellem indholdet i iltet sediment og reduceret sediment (se figur 6).



Figur 6. Definition af nitratreduktionskapacitet. Røde farver illustrerer iltede og anoxiske jordlag, mens grønne farver viser reducerede jordlag.

Indholdet af nitratreducerende stoffer såsom pyrit, Fe (II) og organisk materiale kan bestemmes ved hjælp af sedimentkemiske analyser af udtagne sedimentprøver fra undersøgelsesboringer. Metoden giver kvantitative mål for reduktionskapaciteten i dæklag og grundvandsmagasin.

Bestemmelser af nitratreduktionskapaciteten er begrænset til undersøgelsesboringerne i kortlægningsområdet. Ofte kan de sedimentkemiske resultater ikke generaliseres til hele kortlægningsområdet på grund af, at prøvetagningen ikke har været repræsentativ i forhold til den sedimentkemiske variation i dæklag eller grundvandsmagasin.

Det er derfor vigtigt, at de sedimentkemiske prøver udtages efter en nøje gennemtænkt prøvetagningsstrategi (bestemmelse af prøvetagningsdybder og evt. homogenisering, sammenblanding af prøver, neddeling etc.), som skal sikre, at prøverne er repræsentative for de geologiske enheder, hvor der ønskes geokemiske informationer fra.

Der er brug for metodisk udvikling af den sedimentkemiske bestemmelse af nitratreduktionskapaciteten både med hensyn til prøvetagningen i felten og analyserne i laboratoriet, før metoden kan opnå optimal anvendelse i detailkortlægningen.

I forbindelse med udarbejdelse af en geovejledning i kemisk kortlægning, som foregår i 2008-2009, vil bestemmelsen af nitratreduktionskapaciteten, tolkningsmuligheder og behovet for videreudvikling blive mere detaljeret beskrevet.

3.4.3 Egenskaber ved dæklagene

Dæklagenes lithologi, sammenhæng og mægtighed varierer. Dæklag er i princippet alle lag der ligger over grundvandsmagasinerne, det vil sige både ler- og sanddominerede aflejringer. Det er dog kun de reducerede dæklag, der kan beskytte grundvandsmagasinerne mod nitratforurening.

Dæklagene omfatter både lag i den umættede zone og i den mættede zone. Til hvilken dybde dæklagene skal opgøres afhænger af, i hvilken dybde grundvandsressourcen er beliggende, da dæklagene opgøres for det magasin de beskytter. Det vil sige, at der godt kan ligge dæklag under et overfladenært magasin, hvis disse yder beskyttelse af et dybt magasin. Dæklagenes tykkelse opdeles i <5m, 5-15m og >15 m, som angivet i Zoneringsvejledningen og i tabel 1. Beskyttelsen fra dæklagene afhænger ikke kun af tykkelsen men også af nitratreduktionskapaciteten, der er afhængig af det specifikke indhold af nitrat-reducerende stoffer.

Tykkelsen af lerdæklagene har i væsentlige områder af Danmark en positiv indflydelse på beskyttelse af grundvandet mod nitratforurening.

Tolkning af dæklagstykkelser ud fra fladedækkende geofysisk

I den indledende fase af en kortlægning kan man på baggrund af den tolkede geofysik opgøre den samlede tykkelse af lavmodstandslag, der er beregnet inden for et aktuelt dybde-interval. Herved fås et "geofysisk lertykkelseskort". Modstandsniveauet bør tilpasses lertyperne, der beskrives i områdets borer.

Der findes en statistisk set mere hensigtsmæssig måde at udarbejde lertykkelseskort på. Denne metode bygger også på, at man kombinerer viden om lertykkelser fra alle borer i det givne kortlægningsområde med resultaterne af fladedækkende geofysiske undersøgelser. Beregningerne udføres med et specialudviklet modul, SSV, der indgår som en del af Aarhus Workbench'en. De væsentligste forskelle i forhold til den foran beskrevne fremgangsmåde er, at beregningerne og størrelsen af den statistiske usikkerhed på beregningerne her er veldokumenteret.

Det er planlagt, at der skal udarbejdes en geovejledning i, hvordan dæklag kan tolkes.

Geologi

En beskrivelse af dæklagene i et område kan opnås både direkte og indirekte gennem henholdsvis boringsoplysninger og geofysisk kortlægning. De to datatyper giver sammenholdt et billede af et magasins dæklag, både med hensyn til lithologi og sammenhæng.

De sandede dæklag har en meget lavere reduktionskapacitet end de lerede dæklag på grund af en anderledes mineralogisk sammensætning og en større infiltrationshastighed.

Et særligt aspekt i de øverste lerlag er sprækker, som især forekommer, hvor der er moræner. Sprækker kan forøge vandtransporthastigheden i de øverste 5 til 8 meter under terræn meget betydeligt ned mod de vandførende lag. Sprækkeudbredelse og -intensitet relaterer sig til landskabselementtyper, redoxzoner, makroporezoner og geologisk heterogeni.

tet. Det anbefales, at disse sprækkede lag ikke vurderes som beskyttende lag.

Kortlægning af dæklagenes lithologi, udbredelse, tykkelse og heterogenitet

Til bestemmelse af dæklagenes lithologi i et område anvendes boreprøvebeskrivelser, både nye og ældre, som er lagret i boredatabasen Jupiter. Herfra anvendes både lithologiske betegnelser og farvebeskrivelse. Farvebeskrivelserne anvendes til fastsættelse af nitratfronten som nævnt i afsnit 3.4.1 om grundvandsressourcens kvalitet.

Variationen i lithologien er et godt udtryk for lagenes udbredelse, idet dannelsesmiljøet også kan inddrages i vurderingen af udbredelsen. Kvartært smeltevandsler kan f.eks. ikke forventes at have den samme omfattende udbredelse som moræneler eller tertiært ler. Variationen i lithologien kan også ses i geofysiske kortlægninger som variationer i modstande og sammenhængende områder.

Dæklagenes tykkelse og udbredelse, vurderes i en sammentolkning af oplysninger i boredatabasen og de geofysiske resultater. Ekstrapolering af oplysninger fra punkttolkninger til fladetolkninger gøres ved at kombinere boringsdata med geofysiske tolkninger. På den måde kan den geologiske heterogenitet beskrives.

Terrænnære og dybereliggende lerdæklag

Det optimale for opgørelsen af beskyttelsen fra dæklagenes er at kortlægge hvert eneste lerlag ned til toppen af grundvandsmagasinet samt de interne lerlag i magasinet, da disse også spiller en rolle for nitratfrontens udbredelse i magasinet.

Imidlertid kan det, selv med detailkortlægningen, være vanskeligt at udarbejde kort over dæklagenes som beskrevet ovenfor, bl.a. fordi datatætheden og detaljeringsgraden falder med dybden. Det bør dog tilstræbes at opgøre lerdæklagenes i forhold til det magasin de forventes at beskytte. Er det ikke muligt, opgøres de i stedet som en samlet lertykkelse inden for fastlagte dybdeintervaller evt. kun i ét enkelt interval.

3.4.4 Egenskaber ved grundvandsmagasinet

De grundvandsmagasiner, vi udnytter i Danmark, er væsentligt forskellige med hensyn til den geologiske opbygning. Der er dels de kvartære (sand/grus-) magasiner, som findes i varierende omfang i det meste af landet, og dels de prækvartære (sand/grusmagasiner eller kalkmagasiner), som findes forskellige steder i hele landet.

I mindre omfang indvindes der også fra sen- eller postglaciale magasiner, som er overfladenære magasiner, mens der på Bornholm indvindes fra krystalline magasiner.

Beliggenhed

De helt overfladenære magasiner, der findes ned til ca. 30 meters dybde, har normalt den største risiko for enten at være, eller at kunne blive forurenede med nitrat. Vandets transportvej er kort, og ofte er dæklagenes og den umættede zone over grundvandsmagasinet oxideret.

Dybereliggende grundvandsmagasiner, der findes fra ca. 30 til 300 meters dybde, kan i nogle områder strække sig næsten op til terrænoverfladen.

Kontakten mellem de overfladenære og dybere liggende magasiner kan vurderes ud fra den geologiske forståelse for området, dybtliggende dæklag samt grundvandets strømningsforhold.

Selv gennem meget omhyggelig og intens kortlægning kan det være vanskeligt at fastlægge præcist, hvor der findes begrænsede overfladenære magasiner, og hvor der udelukkende findes dybe magasiner.

Udbredelse

Udbredelsen af grundvandsmagasinerne er typisk mindre for de overfladenære end for de dybe magasiner såvel horisontalt som vertikalt, og især de dybe magasiner kan strække sig uden for kortlægningsområdet. Grundvandets strømningsforhold er derfor en vigtig del af vurderingen af tilstødende områders påvirkning af magasinet og dermed dets sårbarhed.

Kalkmagasiner vil ofte udgøre de dybe magasiner med stor horisontal udbredelse og en vertikal udbredelse, der afhænger af, hvor dybt det salte grundvand findes. Hvor kalken findes nær terræn vil der typisk være ét grundvandsmagasin og dermed direkte kontakt til det dybe magasin, eller kalkmagasinet kan være opdelt af horisontale impermeable lag. Her er det relevant at vurdere den hydrauliske kontakt mellem magasinerne. Hertil kommer, at grundvandets strømning i kalkmagasiner oftest foregår i et komplekst system af sprækker, hvis retninger er svære at afdække.

Grundvandsmagasinerne i de tertiære sandaflejringer er mange steder beliggende på større dybde, og de overfladenære magasiner er her af yngre alder som f.eks. kvartære hedesletter. De tertiære magasiners horisontale udbredelser er så omfattende, at de udpegede OSD ikke dækker hele magasiner og indgående kendskab til grundvandets strømningsforhold er derfor vigtigt for at vurdere påvirkningen fra de grundvandsdannende områder.

Består magasinbjergarten af sandede/grusede aflejringer, kan udbredelsen af et magasin variere meget fra lille skala af form som en linse, der findes lokalt, til stor skala, hvor magasiner har en regional udbredelse. Magasinet kan enten være lokalt i kortlægningsområdet eller strække sig langt uden for et kortlægningsområde, og i begge tilfælde være enten overfladenært eller dybt. Disse magasiner er oftest af kvartær alder.

Kvartære grundvandsmagasiner i områder med et komplekst system af begravede dale kan være sammenhængende over store afstande, idet dalstrukturerne ofte vil strække sig uden for det aktuelle kortlægningsområde.

Sen- og postglaciale magasiner er overfladenære magasiner, der oftest udnyttes i områder, hvor der ikke er andre indvindingsmuligheder. Magasinerne har ikke stor udbredelse vertikalt, men kan godt dække større horisontale områder.

Magasiner i krystallinske bjergarter, som de ses på Bornholm, er oftest gennemsat af spækkesystemer, der gennemskærer magasinbjergarterne.

Det anbefales, at nitratsårbarheden vurderes for alle de magasiner, hvor der aktuelt eller potentielt er indvindingsinteresser. Det vil sige, at det både kan være relevant at vurdere nitratsårbarheden både for overfladenære - og dybe magasiner i et kortlægningsområde, såfremt der er indvindingsinteresser i alle magasiner (situation 2, afsnit 3.3).

Heterogenitet

Den geologiske heterogenitet med vekslende lag af forskellig beskaffenhed påvirker strømningsmønsteret præferentielt. Selv meget tynde lerlag har stor indflydelse på vandets strømningsmønster i sandmagasiner.

Den geologiske heterogenitet betyder, at der vil forekomme store geologiske forskelle inden for korte afstande, og det kan på baggrund af en almindelig datatæthed være vanskeligt at beskrive området med en stor detaljeringsgrad både hvad angår magasiner og efterfølgende vurdere nitratsårbarheden.

I kalkmagasiner og hårde bjergarter forekommer en særlig form for heterogenitet, hvor sprækkesystemer ofte betinger et meget uensartet strømningsmønster, hvor der i store dele af magasinet, det vil sige matrix, stort set ikke er nogen vandtransport af betydning.

3.4.5 Grundvandets strømningsforhold

For at kunne vurdere nitratsårbarheden i et område, er det vigtigt også at kende de hydrologiske forhold. Det gælder kendskab til strømningsforholdene fra overfladen gennem de sekundære magasiner og ned til de primære magasiner samt udstrømning til vandløb. Er der frie eller spændte forhold i de enkelte magasiner, og resulterer det i en opadrettet eller nedadrettet gradient mellem magasinerne. Det er nogle af de fysiske forhold, som er styrende for, hvilken vej grundvandsstrømningen og dermed transporten af nitrat foregår.

Potentialeforhold

Det første skridt i den hydrologiske kortlægning er at få beskrevet potentialeforholdene, og således være i stand til at udarbejde magasinspecifikke potentialekort for relevante magasiner. Det er derfor vigtigt, at der foreligger pejlinger fra så mange observationsboringer og dybdeintervaller som muligt i et kortlægningsområde.

Ud fra magasinspecifikke potentialekort vil man være i stand til at udpege områder, hvor der foregår henholdsvis en opadrettet- og en nedadrettet gradient/strømning af grundvand. Gradientforholdene beregnes ved at trække det sekundære magasin fra det primære magasin. Værdien bliver negativ for nedadrettet gradient og positiv for opadrettet gradient.

I områder med nedadrettet gradient sker der en grundvandsdannelse til de underliggende magasiner. I områder med opadrettet gradient sker der ikke nogen grundvandsdannelse, og der er derfor ikke nogen nedsivning af nitrat til grundvandet. Her vil vandet typisk strømme overfladenært af til vandløb og vådområder.

Gradientforholdene kan også fortælle noget om vandudvekslingen imellem det øvre og det nedre magasin og om der evt. sker lækage til eller fra et underliggende grundvandsmagasin. Disse forhold er vigtige i forhold til transport af nitrat rundt i magasinet.

Der kan lokalt i områder med kraftig indvinding ske en påvirkning af gradientforholdene således at områder, hvor der under upåvirkede forhold altid har været en opadrettet gradient, skifter til nedadrettet gradientforhold. Denne situation vil dog kun erkendes, når man sammenstiller nye og gamle potentialekort for samme område.

Ved ændrede indvindingsforhold bør strømningsforholdene vurderes på ny.

Grundvandsdannelsen

Det anbefales, at estimering af de grundvandsdannende områder baseres på kort over gradientforholdene, som udarbejdes på baggrund af nye potentialedata, som tager højde for de aktuelle indvindinger i det på gældende område. Dog er det vigtigt, at kvalitetssikre de estimerede grundvandsdannende områder ved interpolation mellem observationspunkter med stor afstand.

Når gradientforholdene er belyste, og man heraf kan fastlægge de grundvandsdannende områder, er næste skridt at få fastlagt grundvandsdannelsens størrelse. Denne kan tilvejebringes vha. en numerisk grundvandsmodel, som kan beregne grundvandsdannelsens størrelse på gridcelleniveau i 3D.

Forudsætningen for, at en 3D-numerisk grundvandsmodel kan anvendes til at beregne grundvandsdannelse er, at de overfladegeofysiske data (MEP og PACES) er sammentolket i den geologiske model, som ligger til grund for den hydrostratigrafiske og numeriske grundvandsmodel. Samtidig er det vigtigt, at modellen kan simulere trykniveauerne for de magasiner, som findes i området, og kan gengive vandbalancen for oplandet med en acceptabel sikkerhed.

I kortlægningsområder, hvor der ikke findes en detaljeret numerisk grundvandsmodel, anvendes den estimerede grundvandsdannelse beregnet ud fra NOVANA-modellen.

Hvis grundvandsdannelsen til et magasin er stor eller nogen (typisk omkring 100-400 mm/år), så er der positive indikationer for, at grundvandsmagasinet er nitratsårbart. Derimod indikerer en lille grundvandsdannelse (typisk omkring 0-100 mm/år), at grundvandsmagasinet ikke er nitratsårbart. Den samlede vurdering af nitratsårbarheden af et grundvandsmagasin skal dog bygge på sammentolkning af strømningsforholdene med information om grundvandsressourcens kvalitet og egenskaber ved dæklag og grundvandsmagasin.

3.5 Dokumentation og formidling af vurderingen af nitrat-sårbarheden

I dette kapitel anvises det hvordan vurderingen af nitratsårbarheden og udpegningen af nitratfølsomme indvindingsområder kan dokumenteres og formidles.

3.5.1 Syntetisering af viden om nitratsårbarheden

Vurdering af nitratsårbarheden kræver sammenstilling af viden om komplekse geologiske, hydrologiske og geokemiske forhold i undergrunden. I arbejdsprocessen er det nødvendigt at forenkle viden om de faktiske forhold, for at identificere de mest betydende faktorer for grundvandets beskyttelse og skabe større forståelse for processerne.

Tabel 2 viser eksempel på vigtige nøgleparametre og -informationer der skal indhentes om et område for at kunne vurdere nitratsårbarheden.

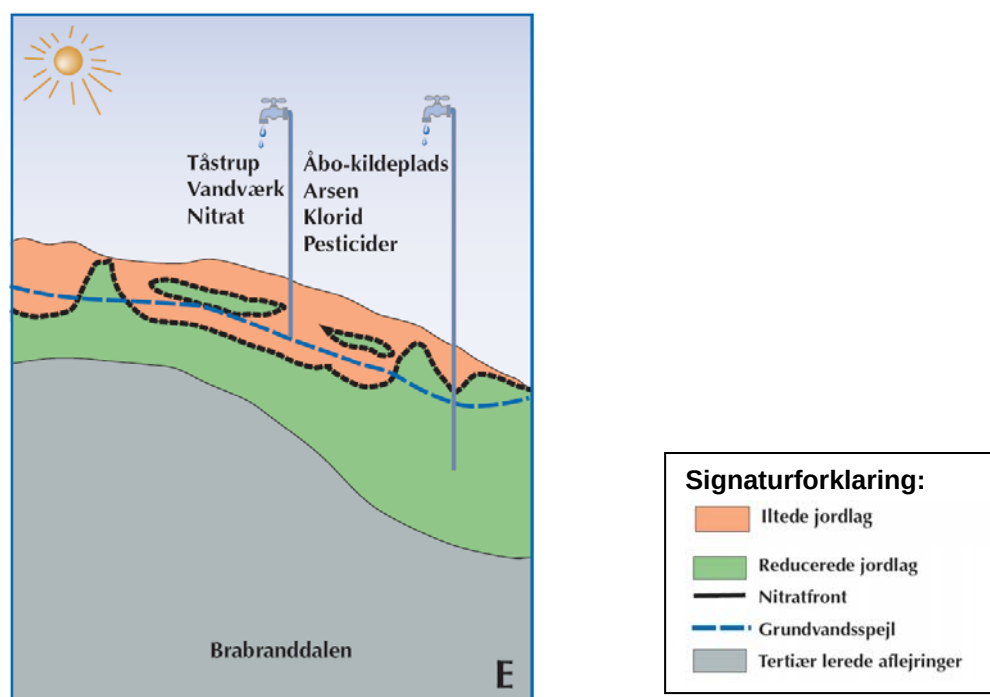
		Eksempel: område E
Drikkevandressourcens kvalitet	Nitrat i iltet og anoxisk zone	20-45 mg/l
	Sulfat	Op til 160 mg/l (Åboværket)
	Vandtype	B og C
	Andre problemstoffer	As: 0,6-13 µg/l Cl: 20-110 mg/l
	Pesticidfund (µg/l)	BAM, Dichlorprop, mechlorprop og 4-CCP (4-CPP > grænseværdien)
	Fund af andre miljøfremmede stoffer (µg/l)	Nej
Egenskaber ved dæklag	Tykkelse af lerdæklag	Syd: 0-5 m, nord: 10-15 m i øverste 30 m.u.t.
	Geologisk sammensætning	Smeltevands- og moræneler
	Udbredelse og heterogenitet	Usammenhængende og vekslende
	Nitratfront)	0-25 m.u.t.
	Reducerede lag over iltede lag	Ja
	Nitratreduktionskapacitet	Ikke bestemt
	Nedsivningsforhold	Lodret/horisontal
Egenskaber ved grundvandsmagasin	Geologisk sammensætning	Smeltevandssand
	Udbredelse og heterogenitet	
	Bund af grundvandsmagasin	40-60 m.u.t.
	Nitratreduktionskapacitet	Ikke bestemt
Strømningsforhold	Grundvandsspejl (kote)	Vest: 10-15 m Midt: ca. 20 m Øst: 10-15 m
	Grundvandsstrømningens retning	Fra vest mod øst
	Grundvandsdannelse (mm/år)	-
	Forceret vandstrømning pga. indvinding	Ja
Andre geologiske forhold	Landskabstype	Århus ådal, morænelandskab
	Prækvartære forhold	Sydlig flanke af Brabranddalen, lerplateau og lavning i den tertiære ler
Vurdering af sårbarhed		Nitratsårbart

Tabel 2. Vigtige nøgleoplysninger ved vurdering af nitratsårbarheden illustreret ved eksempel fra område E fra Århus Syd kortlægningen.

3.5.2 Overblik over nitratsårbarheden

De vigtige nøgleparametre og informationerne i tabel 2 bruges til at fremstille en principskitse med det formål at skabe et overblik og formidle vurderingen af nitratsårbarheden i området.

Informationerne fra eksemplet (område E) i tabel 2 er brugt til at fremstille principskitsen som ses i figur 7.



Figur 7. Principskitse for eksemplet område E fra tabel 2, hvor grundvandsmagasinet er vurderet til at være nitratsårbart og som dermed er udpeget som et nitratsfølsomt indvindingsområde (Århus Amt, 2006).

3.5.3 Beskrivelse af et nitratsfølsomt indvindingsområde

Udover sammenstillingen af oplysninger i tabelform (tabel 2) og fremstilling af principskitse (figur 7) bør det nitratsfølsomme indvindingsområde også beskrives. Et eksempel på en sådan beskrivelse fra område E følger:

Område E er et stort og vidt forgrenet område, som er beliggende ved Harlev ca. 10 km vest for Århus. Den sydlige afgrænsning af området er nordflanken af Århus Ådalen. Området udgøres hovedsageligt af et meget kuperet morænelandskab, som er gennemskåret af Århus Å og erosionskløfter ned mod ådalen. En stor del af arealanvendelsen er landbrug, især i den nordøstlige del.

Den centrale del er domineret af en stor golfbane og i den sydøstlige udløber findes flere lossepladser bl.a. Edslev Losseplads.

Område E ligger ved den sydlige flanke af en dyb begravet dalstruktur, Brabranddalen. Dalstrukturen er meget bred i området, hvilket sandsynligvis skyldes højtliggende kalk.

Der er store vandindvindingsinteresser inden for område E på grund af tilstedeværelsen af Åbo Kildeplads (Åboværket, ÅKV). Desuden ligger Tåstrup Vandværks boringer inden for den nordvestligste del af område E.

Der er forholdsvis mange oplysninger om vandkemi og nitratfrontens beliggenhed i område E, især på grund af de mange indvindingsboringer i området.

Nitratfronten ligger ca. 0-25 m under terræn. Det vil sige, at der nogle steder er reducerede forhold helt til terræn, mens der andre steder er nitratholdigt grundvand i det øvre grundvandsmagasin. Der er desuden i flere af de aktive indvindingsboringer ved Åbo Kildeplads fundet et højt og stigende sulfatindhold (op til 160 mg sulfat pr. l). Dette indikerer, at indvindingen forcerer omsætningen af pyrit i indvindingsboringernes nærhed

Der er i den vestlige del af område E målt et nitratindhold på 20-45 mg/l i iltet/anoxisk grundvand ved en markvandingsboring (DGU nr. 88.879) og ved en af de to indvindingsboringer ved Tåstrup Vandværk. I begge boringer er der desuden fundet BAM.

Boringerne ved Åbo Kildeplads er alle filtersat i den reducerede og nitrutfrie del af grundvandsmagasinet. I 6 af de 7 aktive indvindingsboringer ved Åbo Kildeplads er der fund af et eller flere af pesticiderne BAM, dichlorprop, mechlorprop og 4-CPP. Specielt er indholdet af 4-CPP over grænseværdien i 4 af boringerne ved den seneste indberettede analyse fra 2004.

Desuden viser arsenanalyser, at indholdet i grundvandet er forhøjet (op til ca. 13 µg/l) i flere af boringerne ved Åbo Kildeplads. Derudover er kloridindholdet forhøjet i den vestlige del af område E (op til 110 mg/l).

4. Referencer

Bay, H., Tyge, P., Rasmussen, L. og Nicolaisen, L., 2004. Forceret omsætning af reduktionskapacitet for nitrat i nærzonen til kildepladser. ATV møde. Vintermøde om Jord- og Grundvandsforurening, Vingstedcenteret 9.-10. marts 2004.

DJF, DMU og FØI, 2008. Opdateret notat vedr. effekterne af en permanent nulstilling af udtagningsforpligtigelsen. Baggrundsnotat til Vandmiljøplan III – midtvejsevaluering, december 2008.

Dataansvaftalen af 3. december 2007...

Ernstsen, V. 2005. Nitrat reduktion i den umættede zone. Miljøstyrelsen, Miljøprojekt 1023. ss.37.

Ernstsen, V., Henriksen, H.J. og Platen, F. von, 2001. principper for beregning af nitratreduktion i jordlagene under rodzonen. Miljøstyrelsen. Arbejdsrapport nr. 24. ss.54. <http://www.mst.dk/udgiv/publikationer/2001/87-7944-713-9/html/>

Ernstsen, V. N. Jørgensen, C.R.Lynge. 2005. Metode til analyse af reducerende stoffer i sedimenter. Miljøstyrelsen Miljøprojekt 1024. ss. 57.

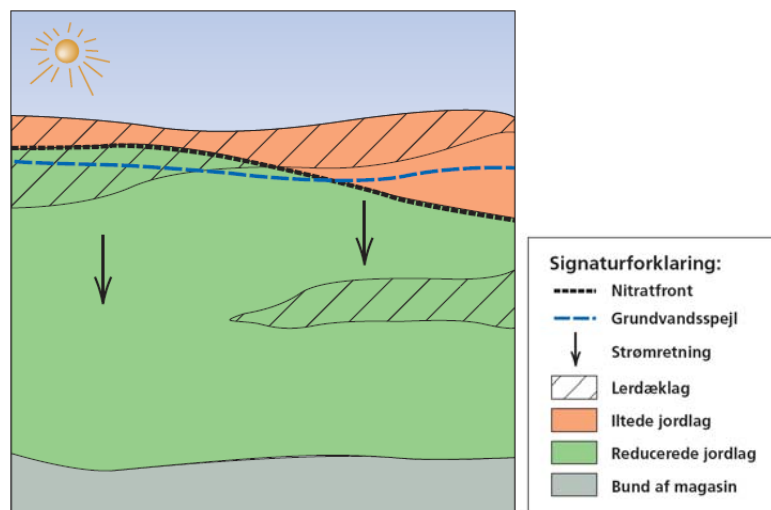
Hansen, B., Iversen, C.H., Nielsen, A.M. & Søndergaard, V., 2008. Status for udpegning af nitratfølsomme indvindingsområder og indsatsområder mht. nitrat. Amternes arbejde. Særdragelse fra GEUS, 47 pp.

MST, 2000: Zonering, Vejledning Nr. 3, Miljøstyrelsen 2000.

Århus Amt, 2006. Redegørelser for grundvandsressourcerne i Århus Syd-området. Eds.: Signe Weng Grønhøj, Birgitte Hansen, Ole Dyrso Jensen, Birthe Eg Jordt, Stine Rasmussen og Richard Thomsen, 285 pp.

Appendix 1: Nitratsårbarhed af kalkmagasiner under østdanske forhold

I dette appendix beskrives, hvordan nitratsårbarheden vurderes for kalkmagasiner under østdanske forhold.



Figur a1. Principskitse for vurdering af nitratsårbarhed for kalkmagasiner under østdanske forhold.

I dette tilfælde er der et dybt kalkmagasin og et overfladenært sandet magasin. Indvindingsinteresserne er knyttet til det dybe magasin.

Bunden af magasinet er en kemisk bund og udgør grænsen til det dybereliggende saltvand.

Grundvandsmagasinerne har en god nitratreduktionskapacitet. De overfladenære og dybe grundvandsmagasiner er delvis i hydraulisk kontakt.

I det dybe magasin er grundvandet nitratfrit og reduceret. Vandtypen er C eller D. I grundvandet med vandtype C forekommer der enkelte steder et højt sulfatindhold (> 75 mg/l) forårsaget af lokale grundvandssænkninger under redoxgrænsen på grund af vandindvindning. Inden for de sidste 10-15 år har sulfatindholdet dog været forholdsvis konstant.

Grundvandet i det overfladenære grundvandsmagasin præges af vandtype C. Lokalt er grundvandet i den øverste del af magasinet oxideret med vandtype A og B.

Den samlede tykkelse af lerdæklagene over det primære grundvandsmagasin er 5-15 meter ler. Lerlagene har en god reduktionskapacitet. Ler- og sanddæklagene yder en god beskyttelse af det dybe grundvandsmagasin.

Nitratfronten ligger i de øvre lerdæklag. Hvor lerdæklagene er tyndest (5-10 meter) er nitratfronten lokalt trængt ned i den øvre del af det overfladenære grundvandsmagasin.

Grundvandets gradient er nedadrettet med nogen grundvandsdannelse.

Det overfladenære grundvandsmagasin er nogle steder nitratsårbart andre steder er det ikke nitratsårbart. Det dybe magasin vurderes til ikke at være nitratsårbart.

Da indvindingsinteresserne er knyttet til det dybe grundvandsmagasin udpeges området som et *ikke-nitratfølsomt indvindingsområde*.



GEO-VEJLEDNING 5 VURDERING AF GRUNDVANDSMAGASINERS NITRATSÅRBARHED

Miljøcentrene under By- og Landskabsstyrelsen, Miljøministeriet skal iflg. Miljømålsloven udføre en detaljeret grundvandskortlægning, der bl.a. inkluderer udpegninger af nitratsfølsomme områder og indsatsområder mht. nitrat samt vurdering af nitratsårbarheden.

Denne rapport indeholder anbefalinger til vurdering af grundvandsmagasiners nitratsårbarhed, som er en central opgave i den afsluttende del af den Nationale Grundvandskortlægning.

Siden 2000 har Zoneringsvejledningen (MST, 2000) dannet grundlaget for udpegningerne og vurdering af nitratsårbarheden. Zoneringsvejledningen er stadig gældende.

Retningslinjerne fra Zoneringsvejledningen præciseres ved hjælp af en række anbefalinger. Rapporten tager udgangspunkt i konklusionerne i "Status for udpegninger af nitratsfølsomme indvindingsområder og indsatsområder mht. nitrat, Amternes arbejde" (Hansen m.fl., 2008), som viste et behov for forenkling, ensartethed og afklaring af de anvendte begreber og fremgangsmåder på området.

Rapporten giver i kapitel 2 anbefalinger til præcisering af en række centrale begreber. I kapitel 3 gives redskaber til vurdering og dokumentation af nitratsårbarheden.