

631.86

B44

# NPo-forskning fra Miljøstyrelsen

Nr. B11 1990

## Grundvandsbelastning fra to landbrug på sandjord



Miljøministeriet **Miljøstyrelsen**

## Om NPo-forskningsprogrammet

*NPo-forskningsprogrammet skal tilvejebringe viden om, hvordan kvælstof (N), fosfor (P) og organisk stof (o) omsættes i jord og påvirker søer, vandløb, fjorde, hav og grundvand.*

Denne rapport er een af de ca. 50, der udsendes som et resultat af NPo-forskningsprogrammet. Med Miljøstyrelsen som ansvarlig for programmets gennemførelse er der sat ca. 70 NPo-projekter i gang ved 25-30 institutioner.

Op gennen 1970'erne og i 80'ernes begyndelse kom der en stigende erkendelse af, at udledninger af næringsstoffer kunne blive en trussel mod livet i vandløb m.v. – og af at der kunne ske en nitratforurening af grundvandet. Den eksisterende viden blev i 1984 samlet af Miljøstyrelsen i den såkaldte NPo-rapport.

Rapporten førte til, at Folketinget i 1985 vedtog de første indgreb for at begrænse forureningen med næringsstoffer – ved at stille krav om, hvordan landbruget skal opbevare og sprede husdyrgødningen.

For at skaffe en større viden om næringsstoffernes indvirkning på naturen afsatte Folketinget samtidig 50 mill. kr. til dette forskningsprogram – som løber fra 1985 og frem til udgangen af 1990.

NPo-forskningsprogrammet blev yderligere aktuelt med Folketingets vedtagelse af Vandmiljøplanen i 1987. Her vil NPo-programmets resultater indgå som et vigtigt baggrundsmateriale for vurderingen af Vandmiljøplanens virkninger.

Til at sikre den faglige og økonomiske afvejning af forskningen blev der nedsat en styringsgruppe, som således har haft det øverste ansvar for NPo-programmets gennemførelse. Desuden blev der nedsat tre koordinationsgrupper, som hver har haft det faglige ansvar for deres område: jord og luft, grundvand og overfladevand.

Rapporterne udsendes i serien »NPo-forskning fra Miljøstyrelsen« – som er opdelt i A, B og C publikationer:

- A er rapporter om jord og luft
- B er rapporter om grundvand
- C er rapporter om vandløb, søer og marine områder

Miljøstyrelsen har været sekretariat for arbejdet og har sammen med koordinationsgrupperne stået for redaktionen af denne rapportserie.

1245

**NPo-forskning fra Miljøstyrelsen  
Nr. B11 1990**

# **Grundvandsbelastning fra to landbrug på sandjord**

Ole Stig Jacobsen  
Danmarks Geologiske Undersøgelse  
Finn Pilgaard Vinther  
Statens Planteavlsvforsøg

**MILJØSTYRELSEN  
BIBLIOTEKET  
Strandgade 29  
1401 København K**

**Miljøministeriet  
Miljøstyrelsen**



## INDHOLDSFORTEGNELSE.

	<u>SAMMENDRAG</u> .....	5
<u>1.</u>	<u>INDLEDNING</u> .....	7
<u>2.</u>	<u>MATERIALER OG METODER</u> .....	8
2.1.	Lokalitetsbeskrivelse .....	8
2.2.	Feltregistreringer .....	11
2.3.	Laboratorieundersøgelser.....	13
2.4.	Vandbalance .....	15
<u>3.</u>	<u>RESULTATER</u> .....	16
3.1.	Lokalitetskarakterisering .....	16
3.1.1.	Jordfysik .....	16
3.1.2.	Jordkemi .....	16
3.1.3.	Mikrobiologi .....	18
3.2.	N-omsætning i umættet zone .....	21
3.2.1.	Omsætning i pløjelaget .....	21
3.2.2.	Jordluft .....	24
3.2.3.	Inkubationsforsøg .....	26
3.2.4.	Laboratorieforsøg .....	29
3.3.	N-transport i umættet zone .....	31
3.3.1.	N-koncentrationer i jordvand .....	31
3.3.2.	Vandbalance .....	36
3.3.3.	N-udvaskning .....	40

3.4.	N-balancer .....	42
3.5	Fosfor .....	44
<u>4.</u>	<u>DISKUSSION OG KONKLUSION</u> .....	46
<u>5.</u>	<u>REFERENCER</u> .....	51
	<u>REGISTRERINGSBLAD</u> .....	56

## SAMMENDRAG

På lette jorde har anvendelsen af husdyrgødning og specielt udbringningstidspunktet stor effekt på kvaliteten af grundvandsinfiltrationen.

De to undersøgte landbrug (Vesterlind og Gunderup) er beliggende syd for Herning på kanten af Skovbjerg Bakkeø, hvor undergrunden består af sand, silt og ler, og dyrkningslaget er henholdsvis JB1 og JB3. Grundvandsreservoiret ligger i henholdsvis 4 og 9 meters dybde og består af Miocænt sand.

På Vesterlind udbringes stadig husdyrgødning, mens denne praksis ophørte foråret 1988 på Gunderup, hvor der derimod igennem mange år har været dyrket efterafgrøder.

Udvaskningen varierede mellem 205 og 45 kg N/ha år, størst efter ajleudbringning på barjord og var generelt faldende gennem måleperioden som følge af "grønne marker" praksis. Der var en meget lav denitrifikationsaktivitet i pløjelaget, men til gengæld en meget høj aktivitet i området omkring grundvandspejlet. Koncentrationerne af lattergas i jordluften ovenover grundvandsspejlet var op til 300 gange koncentrationen i den atmosfæriske baggrund.

Udvaskning af organisk kvælstof blev fundet til at udgøre ca 25 % af den totale udvaskning. Samtidig er der blevet fundet store mængder opløst organisk stof i jordvandet, hvilket betyder, at der kan ske en nitratreduktion i den umættede zone og i det øverste grundvand. Ved grundvandsspejlet faldt TOC koncentrationen 150 mg C/l og laboratoriemålinger viste en nitratreduktion på op til 120

kg N/ha år når der regnes med et jordlag på 1 m's tykkelse. Samstemmende hermed faldt nitratkoncentrationen i de øverste 5 meter af grundvandet til det halve.

I den umættede zone var antallet af nitratreducerende bakterier meget højt, undtagen i lerlaget på Gunderup.

Udvaskningen af total-P var ringe, mindre end 1 kg P/ha år og transporten i den umættede zone ubetydelig.



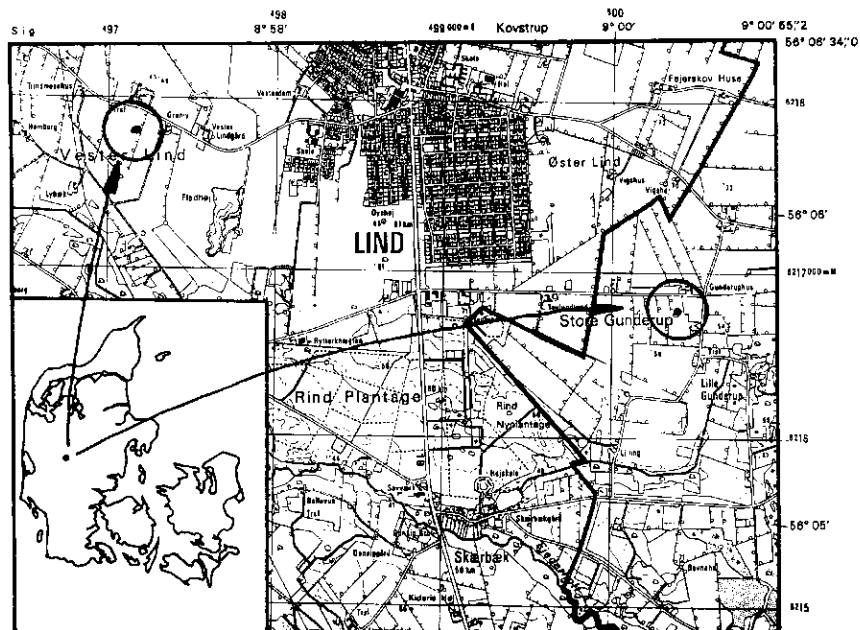
## 1. INDLEDNING.

Kvælstof-udvaskning	Udvaskning af kvælstof fra danske landbrugs arealer er undersøgt og undersøges løbende under en lang række projekter, der spænder over et bredt spektrum af driftsformer og gødskningspraksis. Der er dog mange driftsformer der afviger fra det generelle driftsmønster, og som derfor kunne tænkes at medføre en belastning af det øverste grundvand.
Udvaskning fra landbrug på sandjorde	Effekten af sådanne driftsformer kan bedst undersøges på sandjordsarealer, hvor nedsivningen foregår forholdsvis hurtigt. Regelmæssig dyrkning af efterafgrøder medfører sandsynligvis en reduktion i nedsivningen af nitrat i forhold til driftsformer med udbredt sort mark praksis.
Efterafgrøde	Omvendt kan stort husdyrhold medføre en forøget belastning med organisk kvælstof og ammonium i den umættede zone. En nedvaskning af ammonium til under rodzonen vil kunne afstedkomme en sekundær forurening ved oxidation af ammonium til nitrat.
Husdyrgødning	Projektets oprindelige formål var at belyse de kemiske og mikrobiologiske omsætninger i rodzonen og den umættede zone under et landbrugsareal med regelmæssig dyrkning af efterafgrøde og et areal uden efterafgrøde, samt at vurdere ændringerne i jordvandskvaliteten.
Projektindhold	På grund af øget brug af vinterafgrøder (grønnemark) har det imidlertid ikke været muligt at sammenligne de to landbrug mht. efterafgrødeanvendelse. Hovedvægten er nu lagt på transport og omsætning af N og P i rodzonen og i den umættede zone.
Ændret dyrkningspraksis	

## 2. MATERIALER OG METODER

### 2.1. Lokalitetsbeskrivelse.

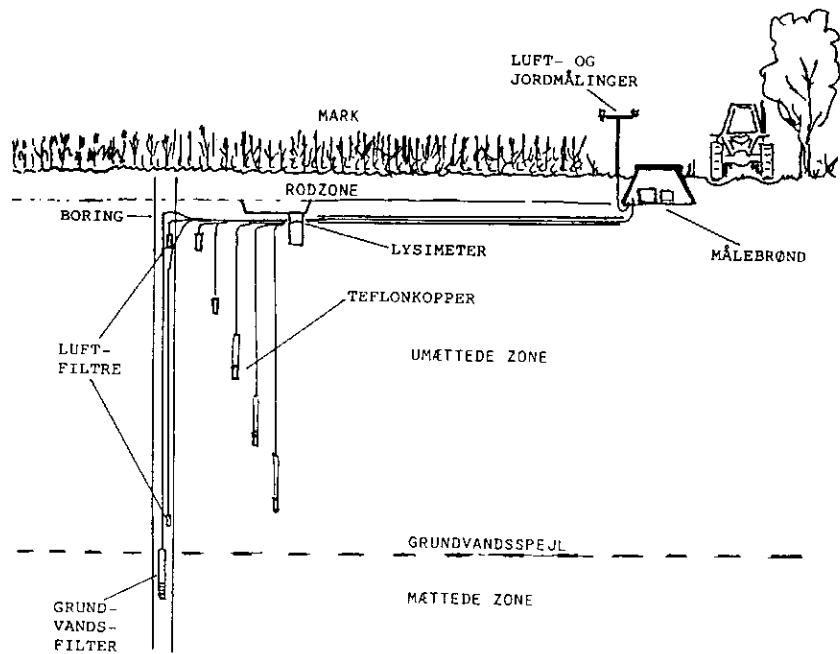
I samråd med en landbrugskonsulent blev to landbrugsarealer syd for Herning udvalgt som målestationer for dette projekt, fig. 1. Den ene station beliggende på et landbrug ved Vesterlind. Gården har en stor svinebesætning, fra hvilken der tilføres svineajle/gødning til markerne en gang årligt. Det andet landbrug ligger ca 1,5 km østligere ved Gunderup og har indtil 1988 ligeledes haft en stor svineproduktion. Landbruget ved Gunderup drives nu som en udelukkende planteproducerende bedrift, med hovedvægten lagt på vårbyg.



Figur 1. Målestationerne, Vesterlind og Gunderup, 5 km syd for Herning.

## Boringer og apteringer

DGU udførte i foråret 1988 en boring til et stykke under vandspejl på hvert af de to arealer til udtagning af jordprøver. Boringerne blev apteret med to grundvandsfiltre i det øverste grundvand og to luftfiltre for henholdsvis vand- og jordluft analyser.



Figur 2. Principskitse af en målestation.

Jordluftfiltre  
I Vesterlind blev de to jordluftfiltre placeret i dybderne 0,8 og 1,4 m, og i Gunderup i 1 og 7 m's dybde. Som jordluftfiltre anvendtes sinterbronzelyddæmpere (Type SM/G3/4A) fra Nordgren Martonair A/S, Herlev, og filtrene blev monteret med 3 mm nylonslanger, således at man fra målebrønden kunne su-

ge jordluft fra de respektive dybder. Ved prøveudtagninger blev jordluft suget igennem en 25 ml gaspipette, hvori luftprøver opbevarede indtil de kunne blive analyseret for  $N_2O$ ,  $CO_2$  og  $O_2$  på gaskromatograf.

På stationerne blev der yderligere monteret teflonkopper til udtagning af jordvand fra den umættede zone, dvs fra rodzonens under side til grundvandsspejlet. Der blev anbragt teflonsugekopper i forskellig dybder for kontinuert opsamling af jordvandsprøver ved hjælp af et batteridrevet vakuumsystem, udviklet i Geokemisk afd. DGU. På Vesterlind blev således anbragt kopper i 1.0, 1.5 og 2.35 meter under terræn og på Gunderup i 1.0, 1.5, 2.35, 3.10, 4.10 og 5.10 meter. For kopper under 1.5 meter befandt opsamlingsreservoiret sig i tilknytning til koppen, mens de øverste var anbragt i målebrønden.

I 0.8 meters dybde anbragtes et registrerende lysimeter (60\*40\*15 cm), der på grund af sin konstruktion hovedsageligt måler nedsivningen i grovporesystemet, idet der fra bunden er en hængende vandsøjle på ca 30 cm. På grundlag af registreringer af gennemløb i perioder, hvor rodzonen har været ca 50-100 mm under WHC (water holding capacity) formodes systemet at registrere grovporetransport (LIFO), Gamble et al. 1990a & 1990b. Opbygning og placering af målestationer fremgår af fig. 2. Alle prøvetagningsenheder blev placeret 10 meter inde på markerne for at undgå randeffekter, og kabler og ledninger blev underjordisk ført ud til målebrønden i markskel. Fra landbruger og landbrugskonsulent oplystes om gødningstilførsler.

Filtre og  
lys metre

Dybder for  
teflonkopper  
og lysimeter

Klimadata	Klimatiske data til brug for beregning af nedsivningen e.g. luft- og jordtemperatur samt nedbørsmængde og -kvalitet målt på en opsat klimastation, der registrerede hvert 5.
Dataopsamling	min og opsamlede data hver time på en Grant Squirrel 1202 logger. Temperaturfølerne var PT100-typen og nedbørmåler samt lysimetermåler af tipping bucket-typen (Rain-O-matic) med en opløsning på 5 ml $\approx$ 1 mm nedbør.
Jordkemi	En række kemiske karakteristika for jordprøverne blev bestemt efter danske standard procedurer (Landbrugsministeriet, 1988). Dette omfatter bestemmelse af: Tørstof, total N, total P, Ft (Fosforsyretallet, P ekstraheret med 0,2 N H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ), pH(H <sub>2</sub> O), Kt, Mnt, Cut, Cat, Mgt og Nat. Desuden blev NO <sub>3</sub> -N og NH <sub>4</sub> -N bestemt ved ekstraktion med 2 M KCl og målt på Flow Injection Analysator (Tecator 5020 Analysator).
Teksturanalyser	Ligeledes blev teksturanalyser foretaget efter standardprocedure (Landbrugsministeriet, 1988 og Gravesen & Knudsen, 1981).

## 2.2. Feltregistreringer.

Stationerne blev besøgt med ca 1 måneds mellemrum, hvor data fra klimastationen blev indsamlet og vand- og jordluftprøver udtaget. Samtidig blev udtaget jordprøver af 0-30 cm i intakte søjle til inkubering in situ til måling af mineraliseringen af kvælstof i rodzonen.

Analyseprogram      Oversigt over standard analyseprogram:

---

Lysimeter teflonkop grundvand regnvand:	pH, Alkalinitet, NO <sub>3</sub> , PO <sub>4</sub> , tot-P, tot-N, Cl, SO <sub>4</sub> , TOC
Jordluft:	N <sub>2</sub> O, N <sub>2</sub> , O <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub>
Pløjejord:	Mineralisering, NO <sub>3</sub> , NH <sub>4</sub> , vandindhold, nitrifikation

---

Denitrifikation	Denitrifikationen blev målt ved enkelte lejligheder, hvor der ved hver lokalitet blev udtaget 15 jordprøver. Jordprøverne blev udtaget i PVC-rør (længde: 30 cm, diam.: 3 cm), som blev banket 20 cm ned i jorden, hvorefter en tætsluttende bundprop blev sat i røret. Rør med jordprøver blev bragt til laboratoriet, og forsynet med et gummiseptum, hvorigennem luftprøver kunne udtages. Ca. 10 % acetylen blev tilsat, og rørene blev inkuberet uden dørs (aktuel temperatur) i ca. 24 timer inden en luftprøve blev analyseret for N <sub>2</sub> O på gaskromatograf.
Denitrifikationens afhængighed af temperatur og vandindhold	Som supplement til feltmålingerne blev der i laboratoriet gennemført kinetikforsøg for at anslå denitrifikationens afhængighed af temperatur og jordens vandindhold (Vinther, 1990).
Modifikation af in-situmetoden	N-mineralisering, nitrifikation og planteoptagelse plus nedsivning fra pløjelaget blev bestemt ved hjælp af in-situmetoden som beskrevet af Debosz og Vinther (1989). Dog modificeret således, at rørene blev inkuberet udenfor marken. Herved kunne landmanden færdes

på marken uden at forstyrre rørene i inkubationsperioden, som varede fra 1 til 1½ måned afhængig af årstid.

### 2.3. Laboratorieundersøgelser.

Biomassemåling	Den totale mikrobielle biomasse blev bestemt ved at måle jordens indhold af adenosintri-fosfat (ATP) som beskrevet af Eiland (1985).
Pladespredning	Den bakterielle biomasse (Colony Forming Units (CFU)) blev bestemt ved pladespredning på jordekstraktagar og på 100 gange fortyndet jordekstraktagar. Antallet af nitratreducerende og denitrificerende bakterier blev estimeret ved Most Probable Number (MPN) metoden (Alexander, 1965) i en nitratrig næ-ringsopløsning (Vinther et al., 1982). Bak-terier som er istand til at reducere nitrat til nitrit kaldes nitratreducerende bakterier, og bakterier som reducerer nitrat eller nitrit til luftformige kvælstofforbindelser kaldes denitrificerende bakterier.
N-bakterier	
N <sub>2</sub> O-målinger	N <sub>2</sub> O-målingerne blev foretaget på en Varian 3300 gaskromatograf forsynes med 63 Ni elek-troncapture detektor og en Poropak T kolonne (1 m · 0,3 cm). Detektor og kolonnetemperatur var henholdsvis 350 og 45 °C. Som bæregas blev anvendt en gasblanding bestående af 95 % Ar og 5 % CH <sub>4</sub> og gennemstrømningshastigheden for bæregassen var 25 ml/min. CO <sub>2</sub> -målingerne blev foretaget på en ML GC 82 gaskromatograf forsynes med en varmeledningsevnedetektor og en Poropak N kolonne (1,1 m · 0,6 cm). Detek-tor og kolonnetemperatur var henholdsvis 150 og 60 °C. Som bæregas blev anvendt He, og gennemstrømningshastigheden for bæregassen
CO <sub>2</sub> -målinger	

O <sub>2</sub> -målinger	var 60 ml/min. O <sub>2</sub> blev målt på begge de ovenfor nævnte gaskromatografer.
Vandanalyser	Vandanalyserne blev udført på ufiltrerede prøver. pH og alkalinitet målt på Radiometer titrator system PHM 82/TTT8/ABU80/TTA80. NO <sub>3</sub> , NH <sub>4</sub> , SO <sub>4</sub> og Cl blev analyseret på et Teccator Flow Injection system 5020/5032/5007. PO <sub>4</sub> og SiO <sub>2</sub> blev udført efter Standard Methods (1975). Total-N blev målet efter Dansk Standard No. 221. og total-P efter Koroleff (1968).
Laboratorieforsøg	Yderligere blev der udført målinger af kvælstofomsætning i den umættede zone på såvel intakte kerner som ved batchforsøg med det formål at estimere nitrat og ammoniumomsætning og en eventuel forsuring af infiltrationsvandet. For at undersøge om nedvaskning af enten ammonium eller ajle fra rodzonen til den umættede zone kan forårsage en forsuring af grundvandet blev der opstillet laboratorieforsøg med jord fra 4 dybder fra hver af de to stationer. Plasticbægre på 50 ml indeholdende 50 g jord med naturligt vandindhold blev tilført henholdsvis 1 ml 125 ppm NO <sub>3</sub> -N eller 1 ml ajle, 1120 ppm NH <sub>4</sub> -N og 90 ppm organisk N. Inkuberingen foregik ved 22 °C og indtil 79 dage. Jordvandets indhold af nitrat, ammonium samt pH blev bestemt.
Estimering af NO <sub>3</sub> og NH <sub>4</sub> omsætning	
Estimering af N <sub>2</sub> O-udvikling	På de samme jordprøver blev der gennemført to forsøgsserier med tilsætning af henholdsvis nitrat (60 ppm N) og gylle (ca. 60 ppm NH <sub>4</sub> -N) og i hver forsøgsserie inkuberedes jord både uden og med 10 vol. % acetylen. Der blev afvejet 12 portioner jord á 50 g fra hver dybde. Jorden blev placeret i 300 ml



infusionsflasker med skruelåg og gummimembran til udtagning af luftprøver. Nitrat eller gylle blev tilsat, og flaskerne inkuberedes ved 20 °C, hvorefter der blev udtaget luftprøver over en periode på 14 dage til analysering for N<sub>2</sub>O. Acetylen blev tilsat til halvdelen af flaskerne efter 3. dagen.

#### 2.4. Vandbalance.

Beregning af vandbalance

EVACROP

På grundlag af temperatur- og nedbørsmålninger, som er udført på stationerne, er det muligt at beregne en vandbalance på markerne, idet afgrødernes så- og høsttidspunkt er optegnet. Beregningen af rodzonens vandbalancen er foretaget med EVACROP-simuleringsmodellen (Olesen og Heidmann 1990), udviklet ved Statens Planteavlsvforsøg 1990.

Beregningsmodellen bygger på dele af WATCROS (Aslyng og Hansen 1982) og NITCROS (Hansen og Aslyng 1984).

Inddata til modellen udgør: klima, jord og afgrøde. For klimaet opgives døgnværdier for lufttemperatur, nedbør og potentiel fordampning. For jorden kræves kendskab til indhold af plantetilgængeligt vand i 25 cm tykke lag indtil 1 meters dybde, kapacitet for evaporationen ved jordoverfladen, samt afdræningshastigheder. Afgrødedata udgøres af afgrødetyper, så-, høst- og slettidspunkter, samt til vandingtidspunkter og -mængder.

### 3. RESULTATER.

#### 3.1. Lokalitetskarakterisering.

De geologiske profiler for Vesterlind, DGU nr. 85.1525, og Gunderup, DGU nr. 85.1526, er beskrevet geologisk som følger:

---

##### **Vesterlind:**

0-0.5 m sand, muldet, Postglacialt  
0.5-1.0 m diluvialsand, kalkfrit, Glacialt  
1.0-4.0 m kvartssand, kalkfrit, Miocænt

##### **Gunderup:**

0-0.5 m sand, muldet, Postglacialt  
1.0-4.5 m moræneler, sandet, kalkfrit, Glacialt  
4.5-5.0 m veksellag, sandet ler,  
5.0-9.5 m kvartssand, kalkfrit, Miocænt

---

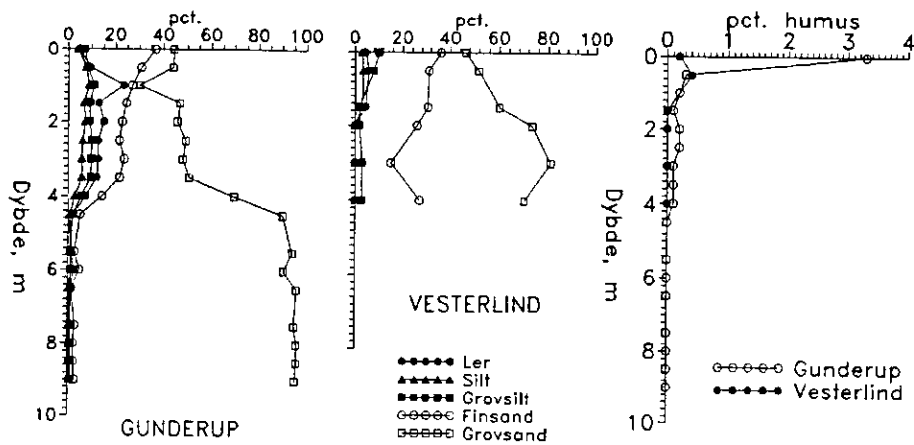
#### 3.1.1. Jordfysik

Lerlag

Pløjejorden i Vesterlind kan karakteriseres som en grov sandjord (JB1), og i Gunderup som en grov lerblandet sandjord (JB3), fig.3. Dog skal det bemærkes, at der i Gunderup er et lerlag i fra ca. 1 - 4.5 meter's dybde, hvor lerindholdet stiger til 23 %. Samtidig falder indholdet af grovsand fra 45 til 30 %. Man skal samtidig bemærke, at humusindholdet i pløjelaget i Gunderup er relativt højt (3,3 %) sammenlignet med i Vesterlind (2,2 %).

#### 3.1.2. Jordkemi

Næringsstofindholdet i pløjelaget var væsentligt højere i Gunderup end i Vesterlind.



Figur 3. Teksturanalyser og humusbestemmelser på de to profiler.

Næringsstoffer  
i pløjelaget

Dette var tilfældet for alle målte næringsstoffer (N, P, K, Mn, Cu, Ca, Mg og Na). Samtidig skal det bemærkes, at det for begge lokaliteter gælder, at næringsstofferne primært var koncentreret i pløjelaget. Således var total-N i Gunderup på 0,15 % i det øverste jordlag, og faldt til 0,01 % i 40 cm's dybde. Tilsvarende drastiske fald ses for de fleste af de øvrige plantenæringsstoffer. Begge jordprofiler er kalkfrie og med total organisk kulstof (TOC) indhold på henholdsvis 1,95% og 1,45% i rodzonen til under 0,02% ved grundvandsspejlet for Gunderup og Vesterlind, hvilket viser at der i den umættede zone ikke findes brunkul af betydning. Total-P indholdet er i pløjelaget for Gunderup omkring 1000 ppm, og faldet til et ni-veau på 160 ppm gennem lerlaget for nederst i profilet i kvartssandet at ligge på under 20 ppm. Disse niveauer genfindes i andre lignede profiler,

Jacobsen (1986). På Vesterlind er niveauer for pløjelag og kvartssand som på Gunderup.

### 3.1.3. Mikrobiologi

Mikrobiel  
biomasse

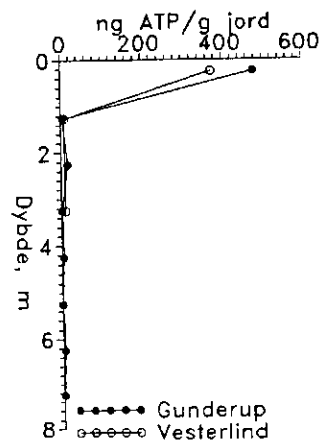
Som et udtryk for den totale mikrobielle biomasse er jordens indhold af ATP (adenosintrifosfat) anvendt, fig. 4. Man bemærker her,

at den mikrobielle biomasse i pløjelaget er noget højere i Gunderup end i Vesterlind, henholdsvis 480 og 380 ng ATP/g jord. Niveauet for ATP-indholdet, svarer godt

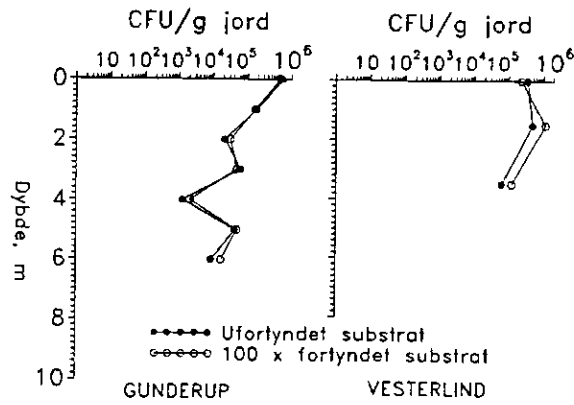
til hvad der er fundet i tilsvarende danske jordtyper (Andersen et al., 1983).

Pladespredningerne blev udført på både et forholdsvis næringsrigt jordekstraktmedium og på samme medium fortyndet 100 gange, fig. 5. Undersøgelser fra bl. a. Japan (Ohta & Hattori, 1983) har vist, at bakterier fra dybere jordlag, grundvand og andre oligotrofe miljøer kan være så tilpassede til disse miljøer, at de ikke er istand til at danne kolonier på et næringsrigt substrat. Resultaterne fra pladespredningerne (fig. 5) viser, at antallet af bakterier i overfladejorden var ca.  $10^6$ /g tør jord, hvilket er i god overensstemmelse med hvad der tidligere er fundet i

Totale antal  
bakterier



Figur 4. ATP-indholdet i de to profiler.

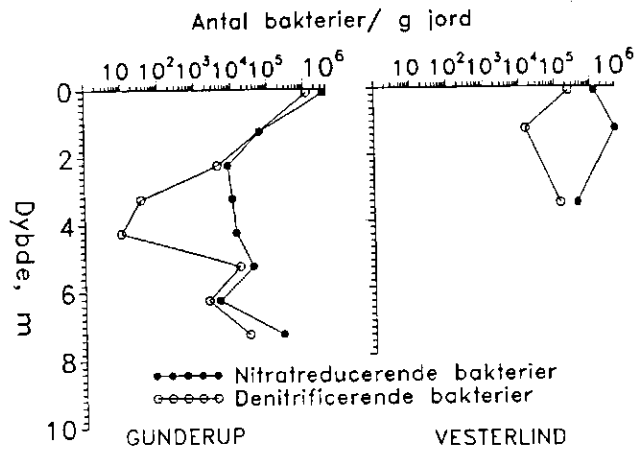


**Figur 5.** Antallet af kolonidannende enheder (CFU) i de to undersøgte jorde.

tilsvarende jordtyper (Andersen et al., 1983). Antallet af bakterier i Gunderup faldt til omkring  $10^4$ /g jord i 2-3 m's dybde, hvorefter det forblev nogenlunde konstant, når tællingerne blev foretaget på et forholdsvis næringsrigt substrat. I Gunderup var der ikke nogen forskel på om bakterierne blev dyrket på et ufortyndet substrat eller på samme substrat fortyndet 100 gange, fig. 5. Derimod synes antallet af bakterier at være lidt højere i Vesterlind (1,5 og 3,0 m), hvis bakterierne blev dyrket på et fortyndet substrat, hvilket er i overensstemmelse med at Vesterlind-jorden tilsyneladende er mere næringsfattig end Gunderup-jorden (se afsnit 3.1.2 Jordkemi).

Antallet af denitrificerende bakterier

Nogle bakterier er i stand til at reducere nitrat. Antallet af nitratreducerende bakterier i overfladejorden (0 - 20 cm) udgjorde ca.  $10^6$ /g jord, og antallet af denitrificerende bakterier var lidt lavere, fig. 6. Tællinger af denitrificerende bakterier i



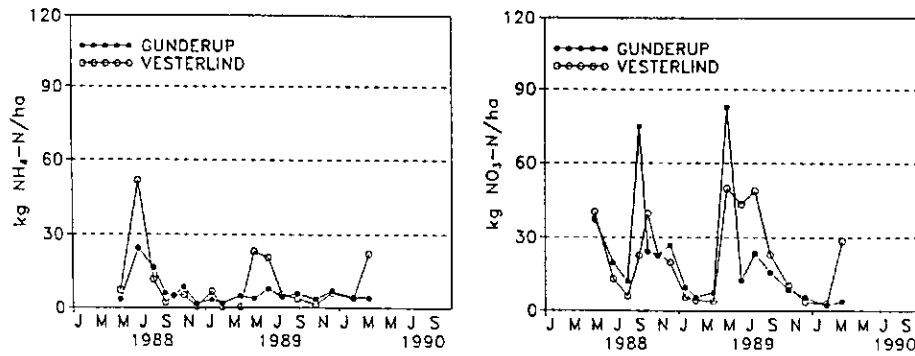
**Figur 6.** Antallet af nitratreducerende og denitrificerende bakterier i Gunderup og Vesterlind profilerne.

rodzonen er tidligere foretaget i forskellige danske jordtyper (Lind, 1980 & 1986, Vinther et al., 1982, Lind & Eiland, 1989, Zeuthen et al., 1990). Antallet, der er fundet i denne undersøgelse stemmer godt overens med, hvad der dengang blev fundet i tilsvarende jordtyper. I Gunderup-profilet faldt antallet af både nitratreducerende og denitrificerende bakterier med en faktor 100 indtil 3 m's dybde, hvorefter antallet af nitratreducerende bakterier forblev nogenlunde konstant indtil 8 m's dybde. Antallet af denitrificerende bakterier faldt yderligere indtil 3-4 m's dybde, hvor der kun blev fundet 10-100 bakterier/g jord.

### 3.2. N-omsætning i umættet zone.

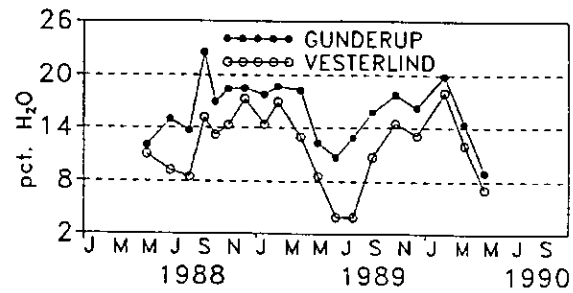
#### 3.2.1. Omsætning i pløjelaget

Anvendelse af in situ-metoden indebærer, at  $\text{NO}_3^-$ - og  $\text{NH}_4^-$ -bestemmelser der ved start og slutning af hver inkubationsperiode udtages jordprøver til nitrat- og ammonium-analyse.



Figur 7. Pløjelagets indhold af ammonium og nitrat.

Jordens indhold af både nitrat og ammonium har igennem projektperioden varieret afhængig

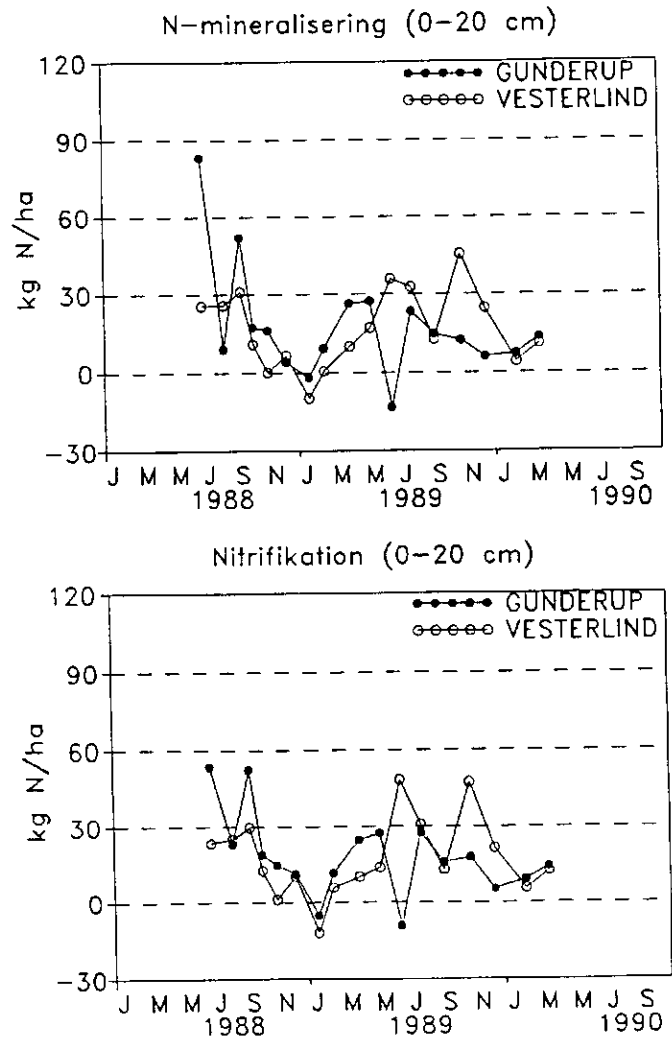


Figur 8 Jordens vandindhold.

af årstid og gødningstilførsel, fig. 7.

Højt N-indhold  
 hele vækstsæso-  
 nen 1989

Dog skal man bemærke, at efter gødningstilførsel i april 1989, steg indholdet af uorganisk N i Vesterlind til et relativt højt niveau, som forblev højt igennem vækstsæsonen



Figur 9. N-mineralisering og nitrifikation i pløjelaget.



89. I Vesterlind. Dette høje indhold af uorganisk N hænger sandsynligvis sammen med, at jorden i Vesterlind i den tilsvarende periode var meget tør, fig. 8, hvilket har hæmmet vinterhvedens vækst så den ikke har været istand til at udtømme jorden for kvælstof.

Stor udvaskning i Vesterlind i efteråret 1989

Kvælstoffet udvaskes fra pløjelaget i løbet af september samtidig med mindre nedbørs hændelser (se afsnit 3.3.2.), hvorefter meget høje koncentrationer af kvælstof måles i gennemstrømningslysometeret (se afsnit 3.3.1.) efter kraftig nedbør i oktober.

Nitrifikation og mineralisering

Nitrifikationen er næsten sammenfaldende med N-mineraliseringen, fig. 9. Dette betyder at ammonium som dannes ved mineraliseringen bliver umiddelbart derefter nitrificeret til nitrat, hvilket er i overensstemmelse med opfattelsen af, at nitrifikationen i ikke vandlidende jord generelt har optimale forhold. Det fremgår endvidere at N-mineraliseringen har været relativt lav i vinterperioderne. Det skyldes den lavere temperatur, som dog var højere end normalt, fig 9. På grundlag af disse in situ-inkubationer er følgende N-omsætning beregnet, kg N/ha/år:

	Gunderup	Vesterlind
N-mineralisering	160	140
Nitrifikation	160	150

Lav denitrifikation

Denitrifikationsaktiviteten i pløjelaget er kun målt 5 gange i løbet af forsøgsperioden, og det beregnede årlige N-tab skal derfor tages med et stort forbehold. Den gennemsnitlige aktivitet har været på henholdsvis 2,3

og 0,7 mg N<sub>2</sub>O-N/m<sup>2</sup> dag i pløjelaget (0 - 20 cm) i Gunderup og Vesterlind. Dette svarer til et årligt tab på henholdsvis ca. 8 og 2 kg N/ha.

#### Kinetikforsøg

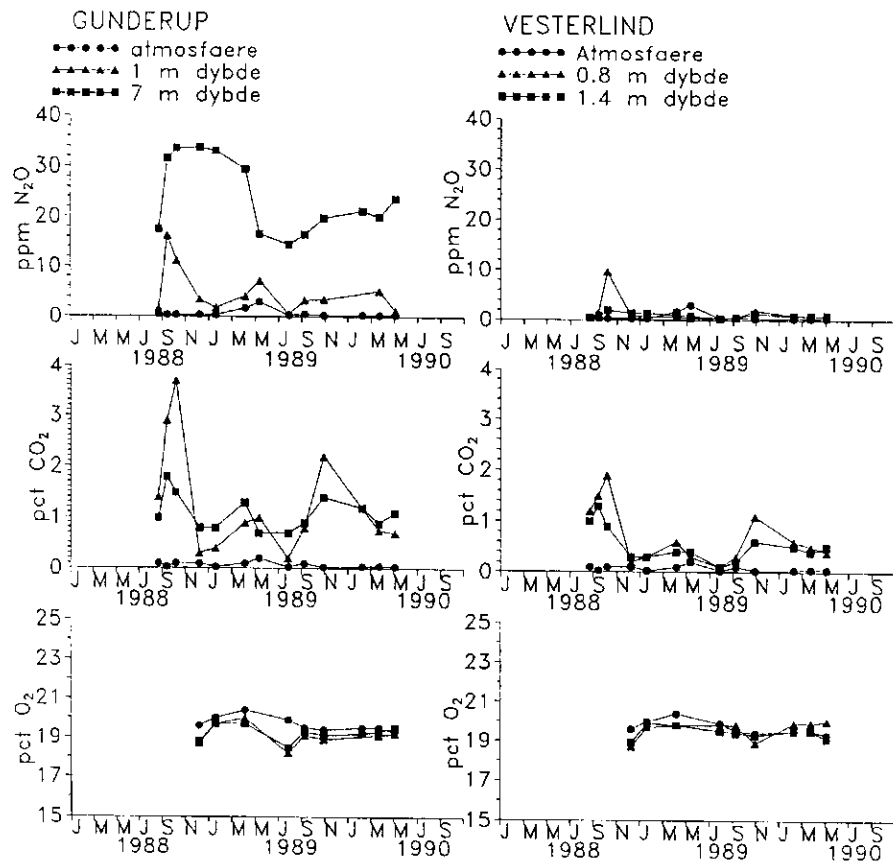
Supplerende kinetikforsøg i laboratoriet ved forskellig temperatur og vandindhold er udført. Anvendes resultaterne herfra i en simpel denitrifikationsmodel som beskrevet af Vinther (1990) kan et årligt denitrifikationsstab beregnes. Dette giver et årligt tab på henholdsvis ca. 3 og 2 kg N/ha i Gunderup og Vesterlind. Selv om der ikke helt er overensstemmelse mellem de målte og de beregnede værdier, så kan det dog konkluderes, at denitrifikationstab i pløjelaget er lavt på begge lokaliteter.

#### 3.2.2. Jordluft

#### Høj N<sub>2</sub>O-koncentration som tegn på mikrobiel aktivitet

Jordluftens indhold af lattergas (N<sub>2</sub>O) har igennem hele forsøgsperioden været meget højt i Gunderup i 7 m's dybde. Op til 300 gange atmosfærens indhold. Ligeledes i 1 m's dybde i Gunderup har N<sub>2</sub>O-koncentrationen igennem det meste af perioden været væsentlig højere end i atmosfæren. Denne høje N<sub>2</sub>O-koncentration tyder på at der finder en mikrobiel nitratreduktion sted i området omkring grundvandsspejlet som befinder sig i 8 - 9 m's dybde.

I efteråret 1988 blev der i Vesterlind i 0,8 m's dybde målt en høj koncentration af N<sub>2</sub>O, fig. 10. Denne stigning i N<sub>2</sub>O-koncentrationen hænger sammen med en ajle-udbringning nogle dage før måling. Også i 1,4 m's dybde kunne der på dette tidspunkt registreres forhøjede N<sub>2</sub>O-værdier. N<sub>2</sub>O-koncentrationen i 0,8 m's



**Figur 10.** Jordluftens indhold af N<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub> og O<sub>2</sub> i Gunderup og Vesterlind.

dybde faldt igen hurtigt til omkring 1 ppm i takt med, at nitraten blev udvasket til større dybde, hvorimod N<sub>2</sub>O-koncentrationen i 1,4 m's dybde var 3-4 måneder om at komme ned på "normalt" niveau.

### 3.2.3. Inkubationsforsøg

For at klarlægge årsagen til de meget høje  $N_2O$ -koncentrationer i de dybere jordlag i Gunderup-profilet, gennemførtes nogle inkubationsforsøg i laboratoriet.

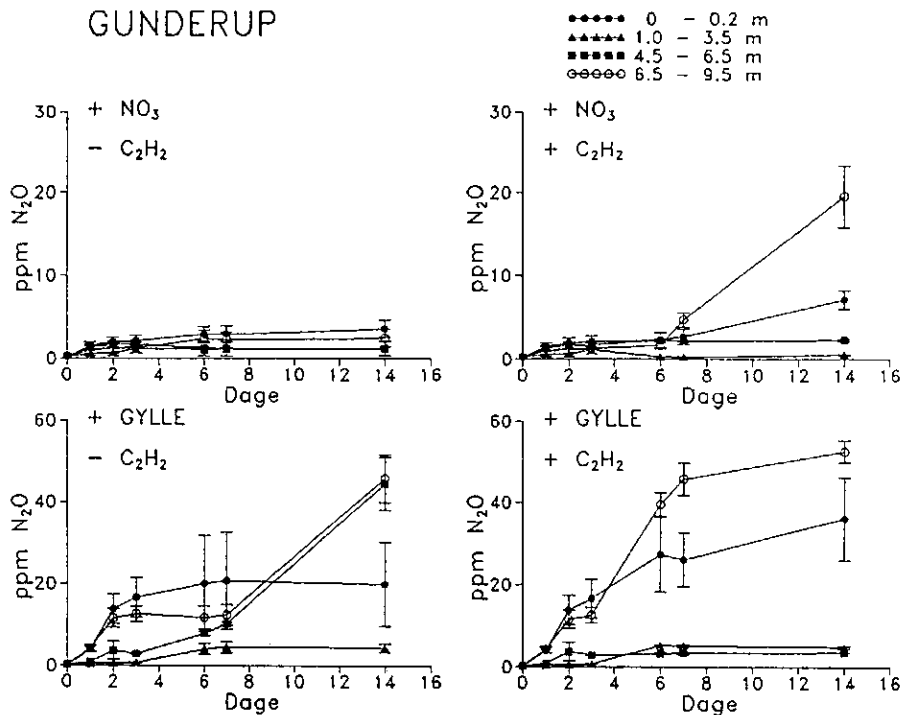
Acetylen-inhiberingsmetoden

Lattergas produceres både ved nitrifikationsprocessen og ved denitrifikationsprocessen, og man kan få et indtryk af fra hvilken af de to processer lattergassen kommer ved at tilsætte acetylen ( $C_2H_2$ ). Herved blokeres for det første reduktionen af  $N_2O$  til  $N_2$ , og for det andet hæmmes nitrifikationen ( $NH_4 \rightarrow NO_2$ ). Man kan således få et indtryk af om lattergassen stammer fra nitrifikationsprocessen eller fra denitrifikationsprocessen ved at inkubere henholdsvis uden og med acetylen. Der er i forsøgsserien med nitrattilsætning og uden acetylen kun sket en meget lille stigning i  $N_2O$ -koncentrationen i alle 4 dybder over de 14 dages inkubationstid, fig. 11. Dette kan enten skyldes, at denitrifikationsaktiviteten er meget lille, eller det kan skyldes, at nitrat reduceres til frit kvælstof, som ikke kan registreres i målingerne. I forsøgsserien med nitrat og acetylen sker der en stigning i dybden 0-20 cm, som efter 14 dage er på 7 ppm  $N_2O$ , og en betydelig stigning i dybden 6,5 - 9,5 m, hvor slutkoncentrationen er helt oppe på 20 ppm  $N_2O$ .

Høj denitrifikation ved grundvandsspejlet

Efter tilsætning af gylle tegner der sig et lignende mønster: Høj denitrifikationsaktivitet i overfladejorden og i 6,5 - 9,5 m's dybde, og lav aktivitet i de mellemliggende dybder. Resultaterne her tyder altså på at der i området omkring grundvandsspejlet i Gunderup er et betydeligt potentiale for

# GUNDERUP

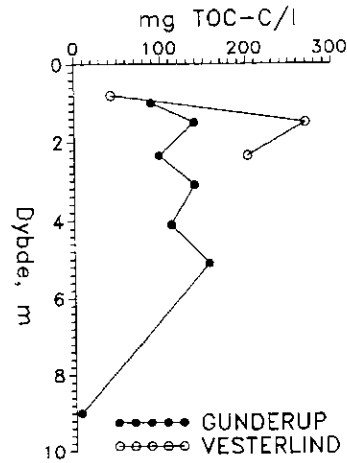


Figur 11.  $N_2O$ -produktion i forskellige dybder i Gunderup-profilen efter tilsætning af 60 ppm  $NO_3$ -N eller gylle (60 ppm  $NH_4$ -N). Inkubationer foretaget uden og med acetylen.

denitrifikation. Resultaterne underbygger ligeledes jordluftmålingerne, hvor der i 7 m's dybde blev målt meget høje  $N_2O$ -koncentrationer (se afsnit 3.2.2).

Målinger i pløjelaget (0 - 20 cm) viste, at der i Gunderup denitrificeres 0,3 - 0,8 g  $N/m^2$  år eller ca. 3 - 8 kg N/ha år. Sammenholdes disse målinger med resultaterne af inkubationsforsøgene, hvor det blev fundet at der efter tilsætning af nitrat var ca. 3 gange større denitrifikationsaktivitet i 6,5 - 9,5 m's dybde end i pløjelaget, kan man beregne at der finder en betydelig ni-

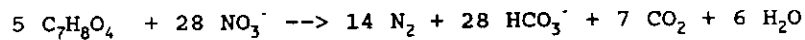
tratreduktion sted i området omkring grundvandsspejlet: I et jordlag på 1 m's tykkelse vil der således kunne denitrificeres hvad der svarer til 35 - 120 kg N/ha/år. At der forsvinder betydelige mængder nitrat fra det øverste grundvand, ses også af målingerne af grundvandets nitratindhold i afsnit 3.3.1.



Figur 12 Jordvandets indhold af TOC.

Fald i TOC ved grundvands-spejlet

Sammenholdes dette med TOC-målingerne i jordvand udtaget i november 1988 (Fig. 12), vil man se at der i Gunderup var et forholdsvis højt C-indhold i dybderne indtil 5 m. I 9 m's dybde målt kun 6 mg C/l. Dette drastiske fald i C-indhold i området omkring grundvandsspejlet, skyldes sandsynligvis at der netop i dette område er en høj denitrifikationsaktivitet og dermed et stort C-forbrug. Ud fra ligningen



kan det beregnes, at der ved et C-forbrug på 100 mg/l denitrificeres ca. 90 mg N/l. Det høje C-indhold i Vesterlind i dybderne 2-3 m hænger sammen med en gylleudbringning nogen tid før prøveudtagning.

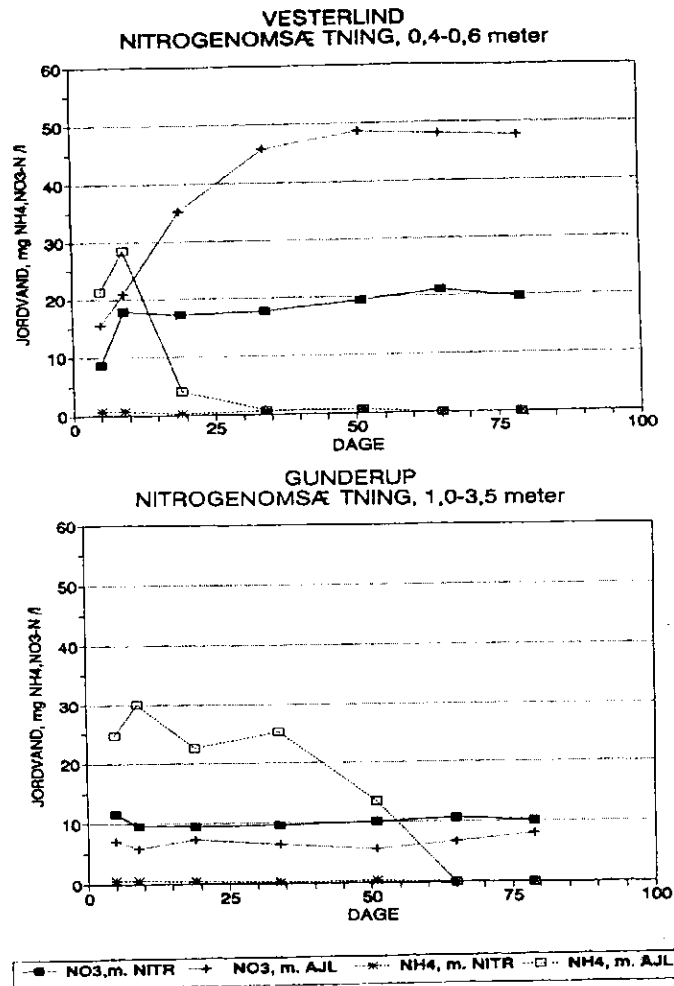
### 3.2.4. Laboratorieforsøg

Mineralisering

Forsøg med tilsætning af nitrat og ajle til jordprøver fra forskellige dybder viser et noget kompleks billede af ændringer efter tilsætningen. For pløjelagets vedkommende sker der gennem hele forsøgsperioden en netto-mineralisering af det organiske indhold, svarende til 0.25 mg N/l dag på Vesterlind og 0.5 mg N/l dag på Gunderup. Samtidig synes en stigning i jordens vandindhold på ca 15 % at bevirke en forøgelse af mineraliseringen. Hvor stor brutto-mineraliseringen har været kan man ikke afgøre ved disse forsøg, idet nitratreduktionens størrelse ikke er bestemt. Den største mineralisering er målt i Vesterlind under rodzonen 0,4-0,6 meter. Nettomineraliseringen svarer til 0,43 mg N/l dag, mens den tilsvarende dybde på Gunderup kun er 0,02 mg N/l dag, fig. 13. Dette skyldes formentlig at nitratreduktionen er af samme størrelse som mineraliseringen.

pH-fald som følge af mineralisering og oxidation

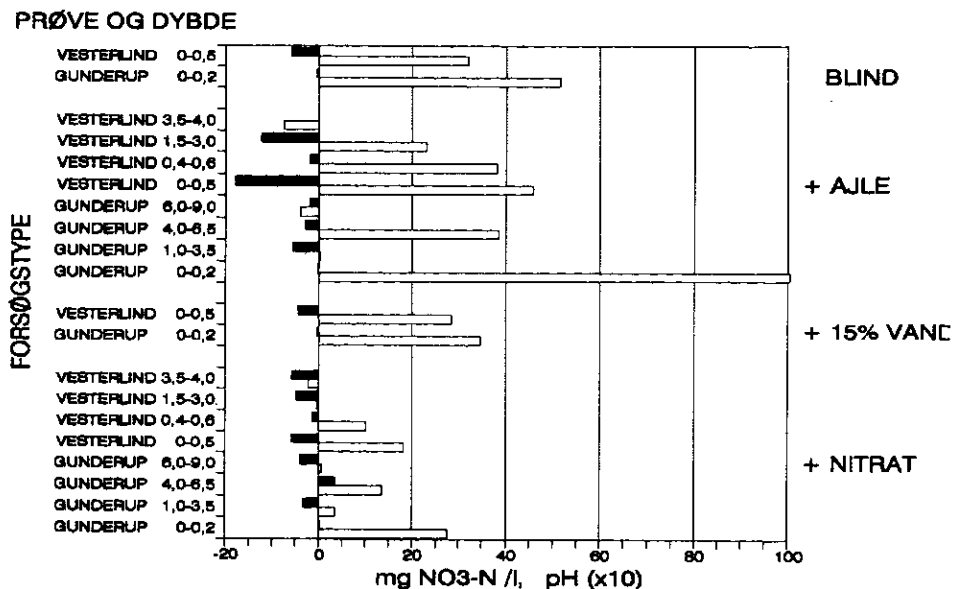
Alle mineraliseringsforsøgene viste et fald i pH gennem forsøgsperioden, fig. 14. Blindforsøg uden tilsætning, forsøgene med nitrattilsætning, samt forsøgene med forøgelse af jordvandsprocenten viste et gennemsnitlig pH-fald på 5 - 10%, mens tilsætning af ajle forårsagede fald på 10 - 40%. Dette hænger sammen med mineraliseringen af ajlen og oxidationen af ammonium er den styrende faktor for pH-niveauet. I lignende forsøg med inkubering af jordprøver ved to temperaturer, 10 og 22 °C, var aktiviteten ved lav temperatur meget lille.



Figur 13. Kvælstofomsætningen i Vesterlind, 0,4-0,6 meter (øverst) og Gunderup 1,0-3,5 meter ved til-sætning af nitrat eller ajle.

Inden for forsøgsperioden målttes kun en ringe mineralisering og nitrifikationen var tilsvarende lav, Søndergaard & Hobolth (1990). Samstemmende hermed fandtes at den mindste aktivitet i lerlaget i Gunderup, hvor der også blev fundet den mindste mikrobielle biomasse, se afsnit 3.1.3.





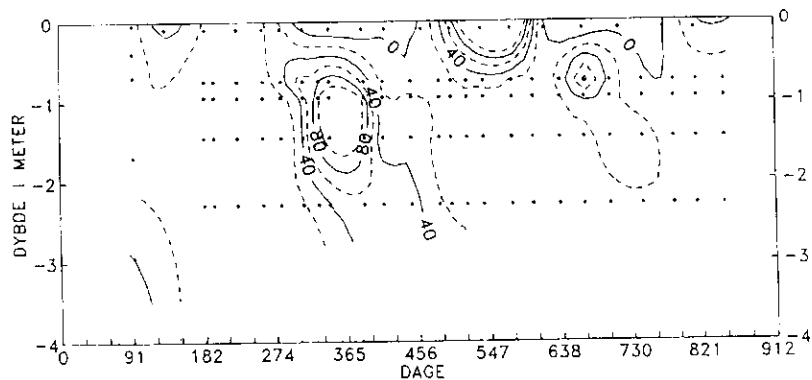
Figur 14. Nettoændringen i nitrat-indhold og pH ved inkubering i 65 dage. Sorte søjle: pH \*10, hvide søjler: nitrat.

### 3.3. N-transport i umættet zone

#### 3.3.1. N-koncentrationer i jordvand

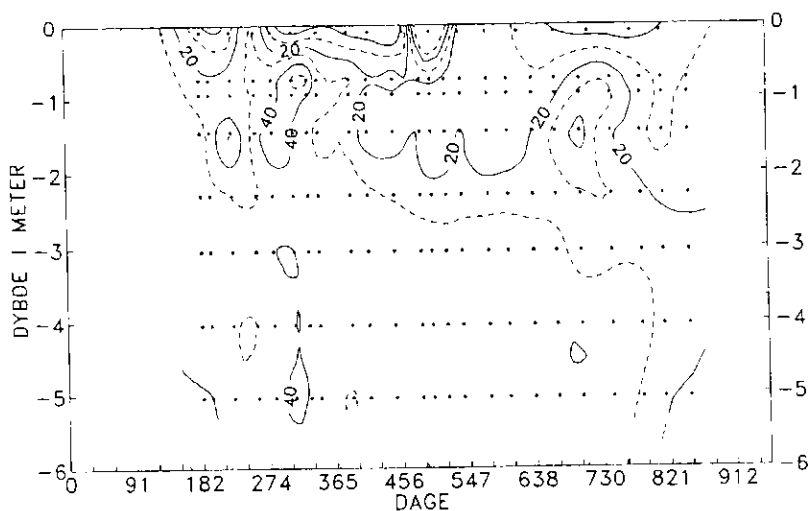
I tidsrummet fra installationen af lysimeter og teflonkopper er der blevet målt jordvandskoncentrationer af nitrat, ammonium og organisk kvælstof i 8 dybder på Gunderup og i 4 dybder på Vesterlind, fig. 15 og fig. 16.

Der er en meget stor forskel på de to stationer med hensyn til den tidsmæssige variation i uorganisk kvælstof (nitrat+ammonium). I Gunderup er der fra starten af 1988 ganske høje koncentrationer i hele profilet, 20-50 mg N/l, og man kan kun se en svag nedgang i vinteren 1988-1989. Tilførslen af nitrat var ringe i 1989, hvilket også afstedkom et gen-



**Figur 15.** Nitrat og ammonium koncentrationerne i Vesterlind profilet, mg N/l.

nerelt lavere koncentrationsniveau, som bredder sig fra pløjelaget mod grundvandet.



**Figur 16.** Nitrat og ammonium koncentrationer i Gunderup profilet, mg N/l.

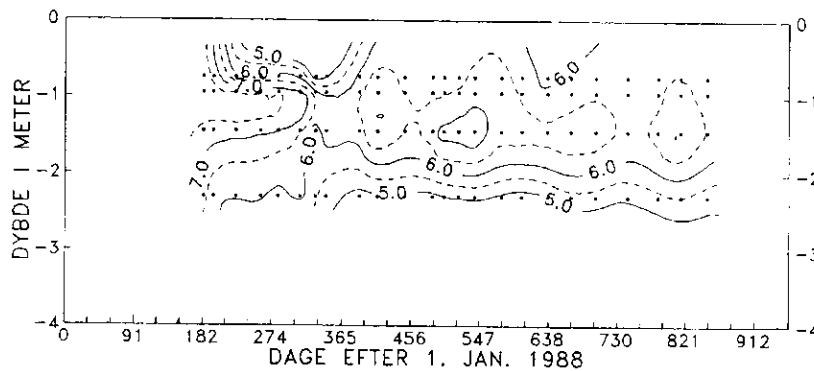
Efter at marken blev lagt i vedvarende græs i september 1989 faldt koncentrationerne yderligere. En svag stigning mellem 1 og 2 meter

Nedbørs-  
afhængighed

Lavere  
N-udvaskning

ses i efteråret 1989 som følge af infiltrationens start.

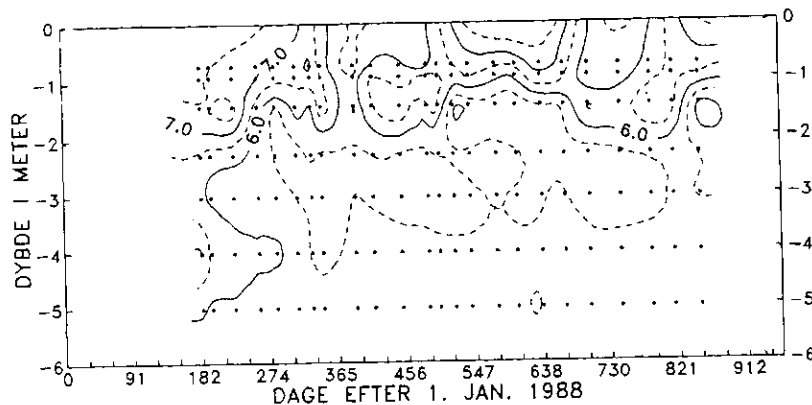
Billedet i Vesterlind er anderledes varieret, fig. 15. I efteråret 1988 tilførtes svineajle, ca 38 tons/ha svarende til ca. 120 kg N/ha, samtidig med at en nedbørsperiode satte ind. Dette medførte en udvaskning af kvælstof, som i løbet af de næste måneder kunne følges ned gennem profilet. Det ses at koncentrationer er størst i 1-1.5 meters dybde, over 100 mg N/l, for derefter at aftage med dybden. Det skyldes sandsynligvis en nitrifikation efterfulgt af en nitratreduktion, se afsnit 3.2.2. I de følgende to vækstsæsoner, hvor marken har haft vinterafgrøder er udvaskningsintensiteten meget mindre, koncentrationer mindre end 50 mg N/l. En forårgødskning i 1989 forblev i rodzonen på grund af meget lidt nedbør sommeren 1989. Profilerne er på ligende måde forskellige hvis man ser på pH, fig. 17 og 18. Gunderup



Figur 17. pH i Vesterlind profilet.  
Dage efter 1.1.1988.

lå pH mellem 6 og 7 i den øverste del og bar

ikke præget af forsuring som følge af ammoniumoxidation. I den dybdere del af profilet sås et vist fald i pH til ca 5.5. Ser man på det tilsvarende tidsforløb på Vesterlind, er det tydeligt at udvaskningen af ajle i efteråret



**Figur 18.** pH i Gunderup-profilet.  
Dage efter 1.1.1988.

1988 gav anledning til et betydeligt fald i overjordens pH. Dette stemmer godt overens med oxidation (nitrifikation) af ammonium til nitrat umiddelbart efter ajleudbringningen. Bruttoreaktionen er som følger:  

$$\text{NH}_4^+ + 2 \text{O}_2 \rightarrow \text{NO}_3^- + \text{H}_2\text{O} + 2 \text{H}^+$$
 hvilket viser at der dannes protoner ved oxidationen.

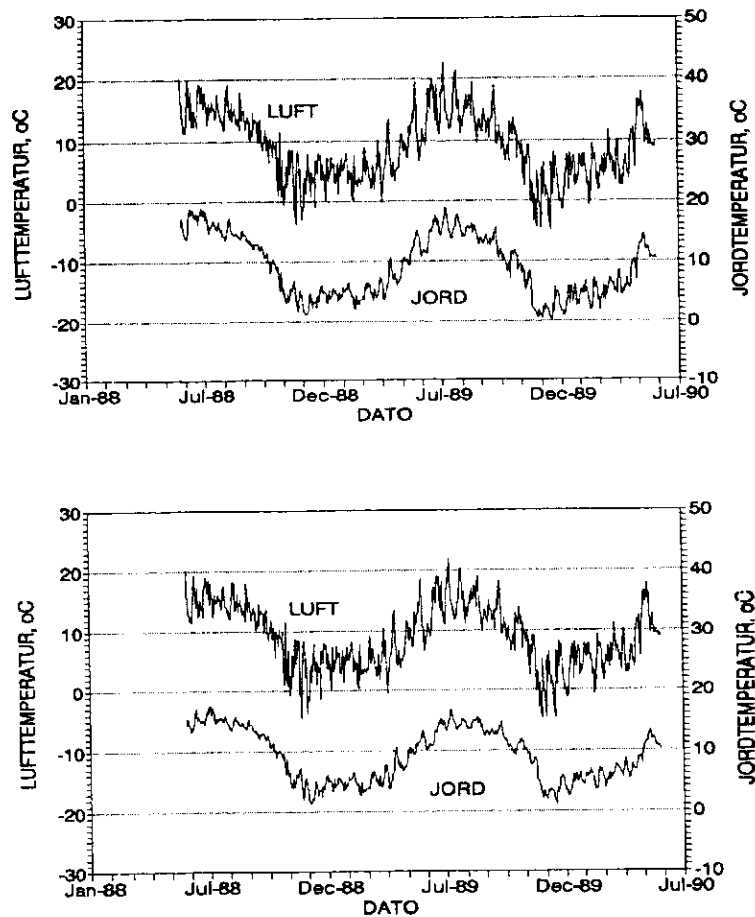
Forsuring som følge af oxidation

Som det også fremgår er pH i hele profilet generelt lavere end på Gunderup og ikke mindst over grundvandsspejlet, hvor pH ligger omkring eller under 5. Det øverste grundvandslag er også blevet analyseret for nitrat-indhold. Der er også her en markant forskel på de to stationer.

Grundvand

Nitratindholdet på Vesterlind ligger mellem 7 og 22 mg NO<sub>3</sub>-N /l, hvorimod indholdet på Gunderup er dobbelt så højt, 34 - 48 mg NO<sub>3</sub>-N /l. To boringer på Gunderup med filter i 15 meters dybde viser dog langt lavere indhold, nemlig henholdsvis 12 og 20 mg NO<sub>3</sub>-N /l.

### 3.3.2. Vandbalance

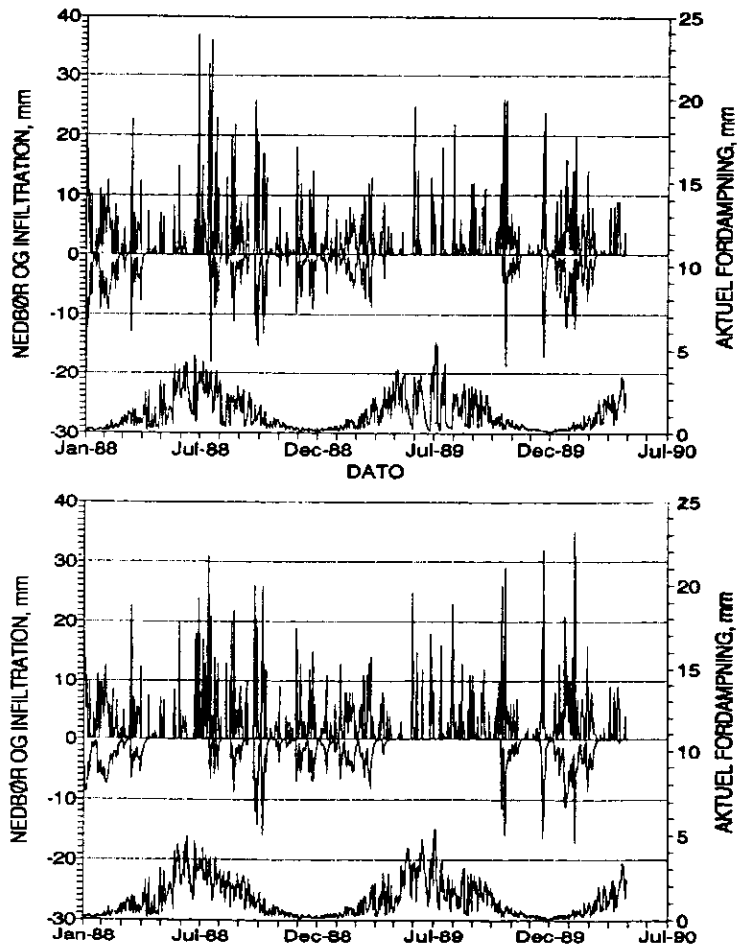


Figur 19. Døgnmiddelværdier for luft- og jordtemperatur i Vesterlind (øverst) og Gunderup.

Indsamlingen af klimadata fra stationerne er påbegyndt 26. maj 1988 og har kørt kontinuert frem projektets afslutning i juni 1990.

Klimadata

Herfra bruges lufttemperatur og nedbørsværdier til beregningen af vandbalancen, mens potentiel fordampning er beregnet på Jord-



Figur 20. Vandbalance for Vesterlind (øverst) og Gunderup. Døgnværdier for fordampning og infiltration er simuleret med EVACROP.

EVACROP

brugsmeteorologisk Tjeneste, Foulum, på basis af daglig globalstråling. I perioden 1. januar 1988 til 25. maj 1988 er der anvendt data beregnet for Barslund Bæk oplandet ved Karup, Jørgen Olesen (pers. comm.). Afgrøder på de to lokaliteter har i perioden været som følger:

Afgrøde	Start	Slut
Gunderup.		
Sort mark	01.01.1988	15.04.1988
Vårbyg m. udlæg	16.04.1988	01.03.1989
Vårbyg	02.03.1989	01.09.1989
Græs	02.09.1989	__ .05.1990
Vesterlind.		
Sort mark	01.01.1988	15.04.1988
Ærter	16.04.1988	31.08.1988
Vinterhvede	01.09.1988	15.09.1989
Vinterbyg	16.09.1989	__ .05.1990

Anvendelse af klima- og afgrødedata

Gennem hele forsøgsperioden har både luft- og jordtemperatur været højere normalt (100 års gennemsnit), fig. 19, hvilket har betydet generel højere biologisk aktivitet. Hvad angår nedbørens fordeling, har begge sommerperioder været nedbørsfattige, hvilket har betydet ganske lange perioder uden infiltration, fig. 20. Beregnes den samlede nedbør og infiltration i perioder med skæring 1. maj fås følgende:

Periode	Vesterlind	Gunderup
<b>Nedbør:</b>		
1988-89	961 mm	1047 mm
1989-90	768 mm	918 mm
sum	1729 mm	1965 mm
<b>Infiltration:</b>		
1988-89	537 mm	579 mm
1989-90	368 mm	470 mm
sum	905 mm	1049 mm

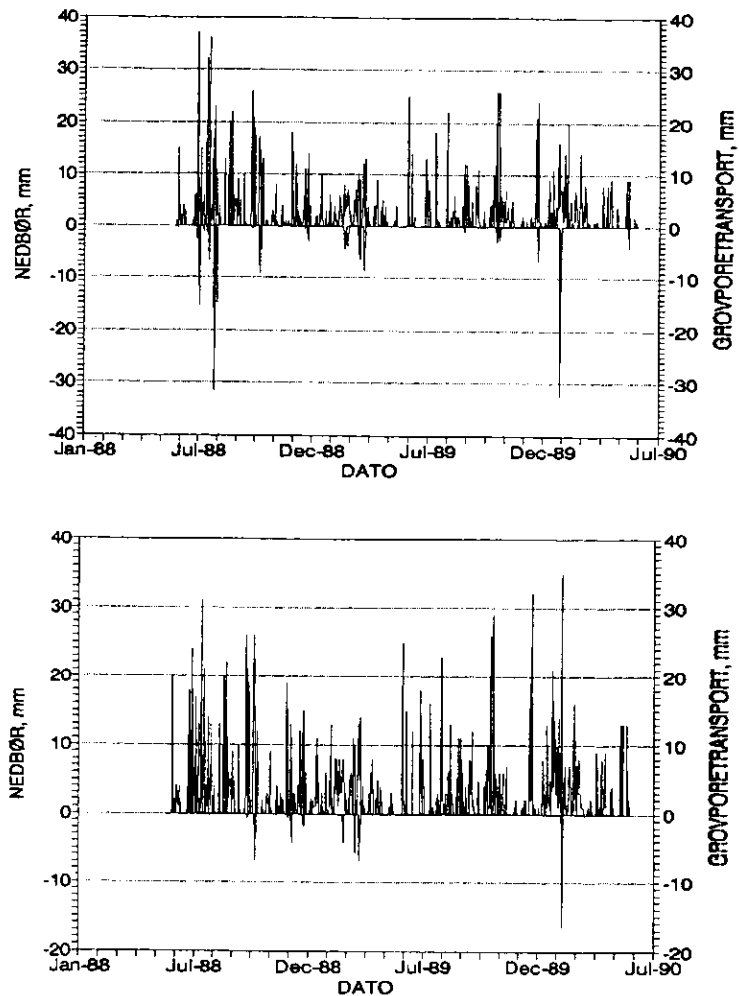
Lokalvariation i nedbøren

Trods lille geografisk afstand er der tydelig lokalvariation i nedbøren. Hvis man antager at den anvendte lysimeter-type giver et udtryk for grovporetransporten gennem rodzonen udgør denne kun henholdsvis 223 mm og 57 mm eller 12.5% og 2.8% af ned-

Grovpore-transport



børen for Vesterlind og Gunderup. Sammenholdt med de beregnede afdræningsværdier i 1 meter's dybde for perioden 1. maj 1988 til 29. maj 1990, fig. 21, viser disse sig at udgøre ca. 52 % og 53 % for Vesterlind og Gunderup stationer.



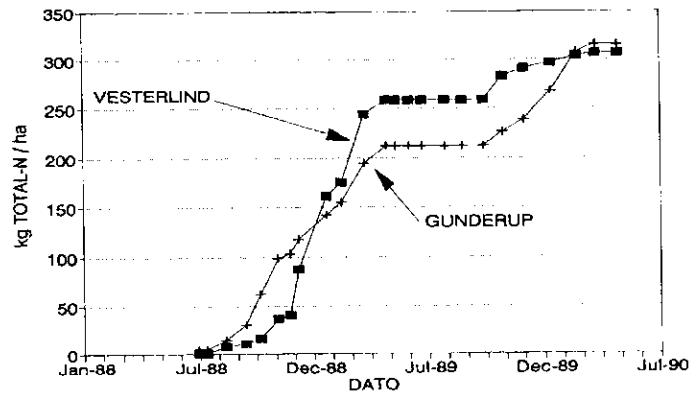
Figur 21. Nedbør og grovporeinfiltration på Vesterlind (øverst) og Gunderup.

### 3.3.3. N-udvaskning

Udvaskning fra  
rodzonen

Grovpore-  
transport

På basis af de beregnede infiltrationsmængder er udvaskningen fra rodzonen (1 meters dybde) beregnet. Beregningen er fremkommet ved periodevis at gange gennemsnitskoncentrationer af total-N (ammonium+nitrat+org. N) fra teflonkopperne i 1 meters dybde med infiltrationsmængden. Herved fremkommer et realistisk estimat af udvaskningen for perioden, fig. 22. På lignende vis kan grovporetransporten estimeres ved anvendelse af målte lysimetervands-

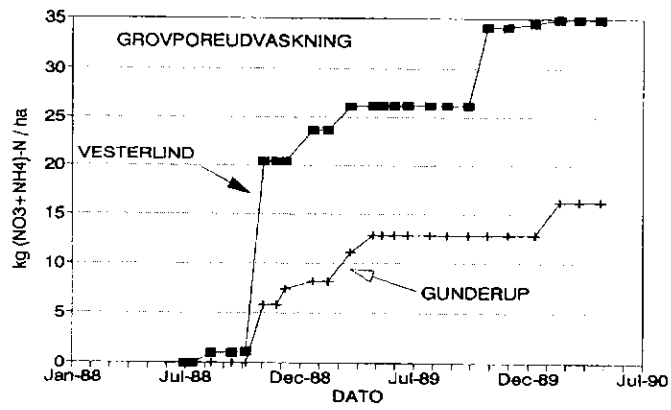


Figur 22. Udvaskning af total-N fra rodzonen.

Ajleudbringning  
og samlet  
udvaskning

mængder og -koncentrationer.

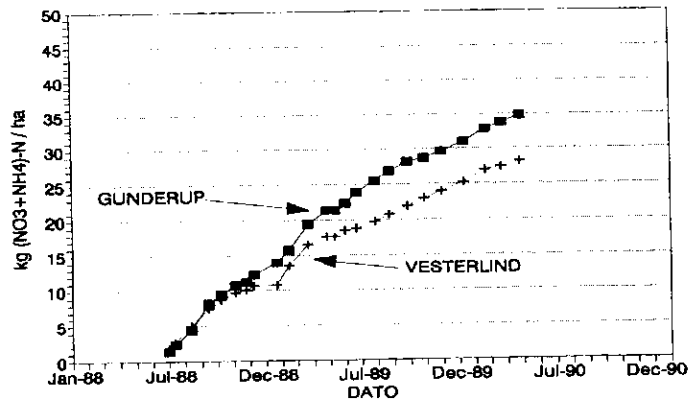
Udvaskningen har gennem måleperioden været højere på Gunderup end på Vesterlind, fig 22. Således er den totale udvaskning af kvælstof i perioden fra juni 1988 til maj 1990 beregnet per ha til 245 kg uorganisk N, 61 kg organisk N for Vesterlind og 260 kg uorganisk N, 55 kg organisk N for Gunderup.



**Figur 23.** Grovporetransport af nitrat og ammonium gennem rodzonen.

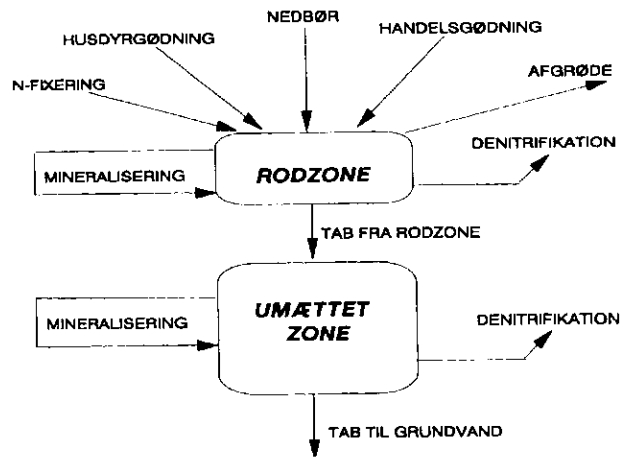
Yderligere er det tydeligt at udvaskningen efter ajleudbringningen i efteråret 1988 på Vesterlind udgør næsten 50% af den samlede udvaskning i hele perioden fra 1988 -1990. Tilsvarende foregik 60 % af den totale grovporetransport i perioden efter ajleudbringning, fig. 23.

Grovporertransportens andel



Figur 24. Afsætning af nitrat og ammonium med nedbør og støv.

### 3.4. N-balancer.



Figur 25. Til- og fraførsler af kvælstof, der indgår i N-balancen.

På basis af egne målinger af nitrat og ammonium indhold i nedbør (Fig. 24), jordvand og grundvand sammen med målinger af denitrifikation og mineraliserings processer i jorden kan der opstilles et skøn for kvælstofbalancerne over årene 1988-89 og 1989-90 for de to landbrugsarealer. Oplysninger om afgrøder og gødskningsmængder er indhentet hos landbruger og hos landbrugskonsulenten. N-fixering i ærteafgrøden i Vesterlind er sat til 100 kg N/ha (Hansen og Kyllingsbæk, 1983).

De viste balancer er behæftet med stor usikkerhed, og skal kun bruges til at vise tendenser i udviklingen over den to-årige projektperiode.

Posten BALANCE dækker over flere ikke målte parametre ud over den usikkerhed der nødvendigvis må optræde i sådanne massebalancer. Således indgår fastlæggelsen af kvælstof i humuspuljen og i den mikrobielle biomasse, nitratreduktion i rodzonens nederste del og i den umættede zone, samt ændringer i jordvandspuljen. Den negative balance i den umættede zone dækker for en væsentlig dels vedkommende over mineralisering. Ud over dette kan ammoniakafdampningen give et betydeligt tab (Christensen og Sommer, 1989).

Specielt er mineraliseringen i den umættede zone på Vesterlind underestimeret idet man fra jordvandskoncentrationer (se afsnit 3.3.1.) kan skønne en betydelig omsætning af ajlenedvaskningen omkring årsskiftet 1988-89, fig. 15.

Ved at sammenligne ændringer kvælstofkoncentrationerne med de tilsvarende for chlorid skønnes spredningen (dispersiviteten) af mindre betydning.

Grundlaget for  
N-balancerne

Biologisk  
N-fixering

Underestimering  
af mineralise-  
ring i den  
umættede zone

**N-BALANCER PÅ VESTERLIND OG GUNDERUP**

Værdier angivet kg N / ha år

	VESTERLIND		GUNDERUP	
	1988-89	1989-90	1988-89	1989-90
<b>Rodzonen, 0-1 meter</b>				
NEDBØR	33	10	28	24
HUSDYRGØDNING	118	151	0	0
HANDELSGØDNING	121	108	72	72
N-FIXERING	100	0	0	0
MINERALISERING	118	171	241	76
INPUT IALT	490	440	341	172
AFGRØDE	134	141	75	75
DENITRIFIKATION	10	10	40	40
UDVASKNING	258	48	212	103
TAB IALT	402	199	327	218
BALANCE: input-tab	88	241	14	-46
<b>Umættet zone, &gt;1 meter</b>				
INFILTRATION	258	48	212	103
DENITRIFIKATION	-50	-30	-80	-50
TAB TIL GRUNDEVAND	-223	-58	-315	-162
BALANCE	-15	-40	-183	-109

Tilsvarende sker der også en betydelig mineralisering på Gunderup i 2-3 meters dybde i efteråret 1988, fig. 16.

Lysimeterforsøg på Askov viser identisk "ubalance" ved anvendelse af gylle på afgrøder, idet ikke alle processer er fastlagt, Larsen (1989).

**3.5 Fosfor.**

Ved undersøgelsen er der også analyseret for fosfat og total-P både i jordvand, regnvand og grundvand. Generelt ligger koncentrationerne på under 0,005 mg P/l. For total-P er udvaskningen opgjort på samme måde som for kvælstof og viser, at for perioden juni 1988

Lille fosfor-udvaskning

til maj 1990 transporteres 0,3 kg P / ha på Vesterlind og 1,5 kg P /ha på Gunderup. Samtidig ser man at fosfor ikke transporteres videre da målelige koncentrationer ikke findes under 1 meter. Dette forhold er forventeligt, da jordens fosforadsorption-kapacitet er mange gange større end tilførslen.

#### 4. DISKUSSION OG KONKLUSION.

Ændret land-  
brugspraksis

Det oprindelige formål med dette projekt var at undersøge den mikrobielle kvælstofomsætning og størrelsen af N- og P-udvaskningen på to landbrug, hvor den væsentligste forskel mellem disse to landbrug var, at der på det ene har været anvendt efterafgrøder over en længere årrække, hvorimod det andet landbrug blev drevet uden efterafgrøder. Indførslen af reglen om tvungen brug af efterafgrøder (grønne marker), har imidlertid betydet, at ingen af lokaliteterne har været uden afgrøder (sorte marker) i undersøgelsesperioden, således, at det ikke har været muligt at sammenligne efterafgrøders effekt på kvælstofudvaskningen. Desuden viste det sig at de to lokaliteter, til trods for den korte geografiske afstand, var noget forskellige mht. tekstur. I Gunderup viste der sig at være et lerlag fra 1 - 4 m's dybde, således at en direkte sammenligning mellem de to lokaliteter af denne grund heller ikke er mulig. Dog har det på den ene lokalitet (Gunderup) været muligt at følge, hvad en ændring i landbrugspraksis har betydet for N-omsætning og udvaskning, idet man her ophørte med svineproduktion og dermed gylleudbringning samtidig med projektets start. Endvidere blev denne lokalitet tilsået med græs til afgræsning ca. trekvart år før projektets afslutning.

Variation i  
kvælstofudvask-  
ningen

Udvaskningen af kvælstof fra de to lokaliteter har varieret igennem undersøgelsesperioden afhængig af gødningstilførsel og nedbør. Således blev der på Vesterlind målt en N-



Makropore-  
transport

udvaskning på 205 kg N/ha fra maj 88 til maj 89, og kun 45 kg N/ha i perioden maj 89 - maj 90. Den meget store udvaskning i det første år skyldes primært, at der i forbindelse med en ajleudbringning i efteråret 88 kom meget nedbør, således at der i løbet af ca. 1 måned blev udvasket ca. 110 kg N/ha. Lignende iagttagelser er gjort af Lind et al. (1990), hvor en efterårsudbragt gylle blev udvasket i løbet af den efterfølgende vinter. Resultaterne fra Vesterlind viste endvidere, at der ved kraftige nedbørshændelser sker en stor udvaskning igennem jordens makroporer (grovporetransport). Således målt grovporetransporten i forbindelse med ajleudbringningen at udgøre ca. 60 % af den samlede N-udvaskning i perioden fra maj 88 til maj 89. Til sammenligning udgjorde grovporeinfiltrationen i den samme periode kun 10 % af den samlede infiltration. N-udvaskningen fra rodzonen i Gunderup var i perioden fra maj 88 til maj 89 på 166 kg N/ha, og fra maj 89 til maj 90 på 95 kg N/ha. Endvidere viste målinger i jordvandet i Gunderup et faldende nitratindhold igennem hele måleperioden. Dette skyldes formentlig ændringerne i dyrkningspraksis; - ajleudbringning ophørt i foråret 88 og udlægning af rajgræs i efteråret 89.

Faldende N-ud-  
vaskning efter  
ændret land-  
brugspraksis

Udover nitratudvaskningen foregår der på visse tidspunkter en ikke ubetydelig udvaskning af ammonium og organisk kvælstof, som over denne to-års måleperiode udgjorde ca 25-30 % i forhold til nitratmængden. Ved en efterfølgende mineralisering og nitrifikation

pH-fald

af dette kvælstof kan der ske et pH-fald, som det er vist i jordvandsprofilerne og ved laboratorieforsøgene.

Mikrobiel

nitratreduktion

Transporten af nitrat gennem den umættede zone i sand foregår ikke kun som passiv transport, som det generelt har været antaget. Da udvaskningen af nitrat, som det er vist, følges af større eller mindre mængder af organisk stof vil der være basis for en mikrobiel omsætning. Som det er vist på Vesterlind sker der en betydelig reduktion af nitratkoncentrationerne fra ca 140 mg N/l ved udvaskningen til ca 60 mg N/l i 2,35 meter i løbet af ca 2 måneder vinteren 1988-89. En tilsvarende reduktion sker året efter, hvor udvaskning i efteråret er langt mindre.

Denitrificerende bakterier i profilerne

Den mikrobielle biomasse målt ved jordens ATP-indhold, det totale antal bakterier (CFU) samt antallet af denitrificerende bakterier på de to lokaliteter er ikke forskellig fra hvad der er fundet i andre tilsvarende jordtyper (Andersen et al., 1983; Lind, 1980 & 1986; Vinther et al., 1982; Zeuthen et al., 1990). Dog indeholdt Gunderup-profilet et sandet lerlag fra 1-4 m's dybde, hvor antallet af denitrificerende bakterier var meget lavt, - under 100 bakterier/g jord. Det er i tidligere undersøgelser vist (bl. a. Zeuthen et al. 1990), at der i dybere jordlag er en relativ lav mikrobiel nitratreduktion på grund af mangel på tilgængeligt kulstof. Undersøgelser i Canada (Hendry et al., 1984) og i Danmark (Lind, 1986) har vist at denitrificerende bakterier findes i meget stort antal selv i dybder til 40-50 meter.

Det er i flere andre danske undersøgelser vist, at potentialet for denitrifikation i pløjelaget i sandede jorde er lavt (Andersen et al., 1983, Christensen et al., 1990, De bosz et al., 1990, Vinther, 1990), således som det også blev fundet i denne undersøgelse. Derimod pegede flere af resultaterne fra Gunderup i retning af en betydelig nitratreduktion i det øverste grundvand. Således blev der målt meget høje koncentrationer af  $N_2O$  i 7 m's dybde, inkubationsforsøg i laboratoriet med tilsætning af nitrat viste høj aktivitet i jordlaget 6-9 m og endelig viste målinger af nitratkoncentrationen i grundvandet et fald fra 40 mg N/l i 9 m's dybde til 16 mg N/l i 15 m's dybde. Et fald i nitratkoncentrationen på 24 mg N/l svarer til at der på denne lokalitet "fjernes" ca. 120 kg N/ha år i det øverste grundvand. Dette er i god overensstemmelse med hvad der blev fundet i inkubationsforsøgene, hvor det blev beregnet at der i området omkring grundvandsspejlet vil kunne denitrificeres 35 - 120 kg N/ha/år fra et jordlag på 1 m's tykkelse. Sammenfaldende med den høje denitrifikationsaktivitet blev der i området omkring grundvandsspejlet målt et betydeligt fald i jordvandets indhold af TOC; - indholdet falder fra 156 mg C/l i 5 m's dybde til 6 mg C/l i 9 m's dybde. Hvis der bruges ca. 1,1 mg C/l til at denitrificere 1 mg  $NO_3-N/l$ , skulle der altså her være denitrificeret ca. 135 mg N/l, hvilket ved en infiltration på ca 500 mm/år svarer til en potentiel nitratreduktion på 675 kg N/ha år. I samme interval er der ikke målt nogen stigning i sulfat indholdet, hvil-

Lav denitrifikation i pløjelaget

Høj denitrifikation ved grundvandsspejlet

Stort fald i TOC-indholdet ved grundvandsspejlet

ket indikerer at der ikke er tale om nitrat-reduktion på grund af en oxidation af pyrit ( $\text{FeS}_2$ ).

Lille P-udvask-  
ning

Udvaskningen af total-P er målt til under 1 kg P/ha år, og koncentrationerne i den umættede zone ligger generelt omkring 0.005 mg P/l, hvilket er uden betydning for vandmiljø og grundvandskvalitet.

## 5. REFERENCER.

- Alexander, M. (1965): Mostprobable number method for microbial populations. In: C. A. Black (ed.), Methods of soil analysis. Chemical and microbial properties. Amer. Soc. Agron., Madison, Wisc., p.1467-1472.
- Andersen, C., Eiland, F. & Vinther, F. P. (1983): Økologiske undersøgelser af jordbundens mikroflora og fauna i dyrkningssystemer med reduceret jordbehandling, vårbyg og efterafgrøde. Tidsskr. for Planteavl 87, p.257-296.
- Aslyng, H.C. & Hansen, S. (1982): Water Balance and Crop Production Simulation. Hydrotechnical Laboratory. The Royal Veterinary and Agricultural University. Copenhagen. 200pp.
- Christensen, B.T. & Sommer, S.G. (1989): Fordampning af ammoniak fra udbragt gødning. Tidsskr. f. Planteavl 93: p.177-190.
- Christensen, N., Ernstsén, V., Jørgensen, F. & Vinther, F.P. (1990): Ændringer i næringsstofomsætningen på marginaliseret landbrugsjord. NPo-forskning fra Miljøstyrelsen, Nr. A13.
- Debosz, K. K. & Vinther, F. P. (1989): An in situ technique for simultaneous measurements of mineralization, leaching and plant uptake of applied nitrogen to agricultural soils. In (Eds. J. Aa. Hansen & K. Henriksen) Nitrogen in organic wastes applied to soils, Academic Press, London. p.310.

- Eiland, F. (1985): Determination af adenosinetriphosphate (ATP) and adenylate energy charge (AEC) in soil and use of adenine nucleotides as measures of soil microbial biomass and activity. Dissertation, Royal Veterinary and Agricultural University, Copenhagen.
- Gamble, B.F., Eckstein, Y. & Edwards, W.M. (1990a): Principles of evaluation of water residence time using Queueing disciplines with water budget data (Theoretical background - I). J. Hydrol., 113 p.1-25.
- Gamble, B.F., Eckstein, Y. & Edwards, W.M. (1990b): Evaluation of water residence time in a monolith lysimeter from the application of queueing disciplines to water budget data (Demonstration - II). J. Hydrol., 113 p.27-49.
- Gravesen, P. & Knudsen, J. (1981): Beskrivelse af boreprøver fra vandforsyningsboringer ved Danmarks Geologiske Undersøgelse. Vandteknik 5 p.111-118.
- Hansen, S. & Aslyng, H.C. (1984): Nitrogen Balance in Crop Production Simulation model NITCROS. Hydrotechnical Laboratory. The Royal Veterinary and Agricultural University. Copenhagen. 113 pp.
- Hansen, J. & Kyllingsbæk, A. (1983): Kvælstof og planteproduktion. Tidsskrift for Planteavl's Specialserie, bredning nr. S 1669.
- Hendry, M.J., McCready, R.G.L. & Gould, W.D. (1984): Distribution, source and evolution of nitrate in a glacial till of Southern Alberta, Canada. J. Hydrology, 70, p. 177-198.

- Jacobsen, O.S. (1986): The Vulnerability Project ENV 703 DK, Subproject 2.2, General chemistry. Internal report DGU 41.1986, 27pp.
- Koroleff, F. (1968): Determination of Total Phosphorus in Waters by means of Persulphate oxidation. - ICES, Hydrography Com. C.M. 33, 1968 C.
- Landbrugsministeriet (1988): Fælles arbejdsmetoder for jordbundsanalyser. København.
- Larsen, K.E. (1989): Husdyrgødning og dens anvendelse, Statens Planteavlsforsøg. Beretning nr. S 1809, p.104-109.
- Lind, A.M. (1980): Denitrification in the root zone. Tidsskr. f. Planteavl 84, 101-110.
- Lind, A.M. (1986): The Vulnerability Project ENV 703 DK, Subproject 2.3, Special chemistry. Internal report DGU 42.1986, 23 pp.
- Lind, A.M. & Eiland, F. (1989): Microbiological characterization and nitrate reduction in subsurface soils. Biol. Fertil. Soils 8, 197-203.
- Lind, A.M., Deboz, K.K., Djurhus, J., & Maag, M. (1990): Kvælstofomsætning og -udvaskning i dyrket ler- og sandjord. NPo-forskning fra Miljøstyrelsen, Nr. A9.
- Ohta, H. & Hattori, T. (1983): Oligotrophic bacteria on organic debris and plant roots in a paddy field soil. Soil Biol. Biochem. 15, 18.

- Olesen, J.E. & Heidmann, T. (1990): EVACROP. Et program til beregning af aktuel fordampning og afstrømning fra rodzonen. Version 1.00. AJMET. Arbejdsnotat No. 9. Statens Planteavlsvforsøg, Landbrugscenteret. 65pp.
- Søndergaard, J. & Hobolth, K. (1990): Nitratdannelse i umættet zone i sandjord. DIA-K examensprojekt. 90pp.
- Standard Methods for Examination of Water and Wastewater. 14th edition, APHA, Washington, 1975, 1193 pp.
- Vinther, F. P., Memon, G. H. & Jensen, V. (1982): Populations of denitrifying bacteria in agricultural soils under continuous barley cultivation. *Pedobiologia* 24, 319-328.
- Vinther, F. P. (1990): Temperatur og denitrifikation. NPo-forskning fra Miljøstyrelsen, Nr. A3.
- Zeuthen, S. B., Vinther, F. P. og Eiland, F. (1990): Mikrobiel nitratreduktion i umættet zone. NPo-forskning fra Miljøstyrelsen, Nr. B7.





## Registreringsblad

**Udgiver:** Miljøstyrelsen, Strandgade 29, 1401 København K.

**Serietitel, nr.:** NPo-forskning fra Miljøstyrelsen, B11

**Udgivelsesår:** 1990

**Titel:**

Grundvandsbelastning fra to landbrug på sandjord

**Undertitel:**

**Forfatter(e):**

Jacobsen, Ole Stig; Vinther, Finn Pilgaard

**Udførende institution(er):**

Danmarks Geologiske Undersøgelse; Statens Planteavlsvforsøg

**Resumé:**

Undersøgelser af den mikrobielle kvælstofomsætning og N- og P-udvaskning på 2 sandjorder viser tab fra rodzonen på 45-205 kg NO<sub>3</sub>-N/ha pr. år afhængig af gødningstilførsler og nedbør. Hertil kommer en ikke ubetydelig udsivning af organisk bundet kvælstof op til ca. 60 kg N/ha pr. år. Den mikrobielle aktivitet omkring grundvandspejlet viser en nitratreduktion på 35-120 kg N/ha pr. år, mens den er lille i pløjelaget. Størrelsen af P-udvaskning er fundet til under 1 kg P/ha pr. år og er uden betydning for grundvandskvaliteten.

**Emneord:**

landbrug; grundvand; husdyrgødning; jordbundstyper; udvaskning; mikrobiologisk nedbrydning; nitrogen CAS 7727-37-9

**ISBN:** 87-503-8827-4

**ISSN:**

**Pris:** 70,- (inkl. 22 % moms)

**Format:** AS5

**Sideantal:** 56 s.

**Md./år for redaktionens afslutning:** november 1990

**Oplag:** 500

**Andre oplysninger:**

Rapport fra koordinationsgruppe B for grundvand

**Tryk:** Luna-Tryk ApS, København

# **NPo-forskning fra Miljøstyrelsen**

Rapporter fra koordinationsgruppe B for grundvand

- Nr. B 1 : Kemisk nitratreduktion med jern(II)forbindelser
- Nr. B 2 : Nitratreduktion i moræner
- Nr. B 3 : Nitratreduktion og organisk stof i grundvandsmagasiner
- Nr. B 4 : Nitrat og fosfat i grundvand/drikkevand fra områder i Danmark
- Nr. B 5 : Transport og omsætning af N og P i Rabis Bæks opland
- Nr. B 6 : Transport og omsætning af N og P i Langvad Å's opland. I
- Nr. B 7 : Transport og omsætning af N og P i Langvad Å's opland. II
- Nr. B 8 : Nitratreduktionsprocesser i Rabis hedesletteaquifer
- Nr. B 9 : Afstrømning og transport til Rabis og Syv Bæk
- Nr. B10 : Geokemiske processer i et grundvandsmagasin
- Nr. B11 : Grundvandsbelastning fra to landbrug på sandjord
- Nr. B12 : Fluktuationer i grundvandets nitratindhold
- Nr. B13 : Flow and Transport Modelling – Rabis Field Site
- Nr. B14 : Drainage Flow Modelling – Syv Field Site
- Nr. B15 : Regional model for næringssalttransport og -omsætning
- Nr. B16 : Kortlægning af potentialet for nitratreduktion
- Nr. B17 : Klimastationer i NPo-værkstedsområder
- Nr. B18 : Grundvandsmoniteringsnet i Danmark
- Nr. B19 : Field Investigations of Preferential Flow Behaviour

Nr. B8 er tidligere annonceret med titlen:  
Processes of nitrate reduction in a sandy aquifer

# Grundvandsbelastning fra to landbrug på sandjord

Undersøgelser af den mikrobielle kvælstofomsætning og N- og P-udvaskning på 2 sandjorder viser tab fra rodzonen på 45-205 kg  $\text{NO}_3\text{-N/ha}$  pr. år afhængig af gødningstilførsler og nedbør. Hertil kommer en ikke ubetydelig udsivning af organisk bundet kvælstof op til ca. 60 kg N/ha pr. år. Den mikrobielle aktivitet omkring grundvandsspejlet viser en nitratreduktion på 35-120 kg N/ha pr. år, mens den er lille i pløjelaget. Størrelsen af P-udvaskning er fundet til under 1 kg P/ha pr. år og er uden betydning for grundvandskvaliteten.



Miljøministeriet **Miljøstyrelsen**

Strandgade 29, 1401 København K, tlf. 31 57 83 10

**Pris kr. 70.- inkl. 22% moms**

ISBN nr. 87-503-8827-4