

## Grundvandsundersøgelser på sandjord 1987-89

*Investigations of ground water on sandy soils 1987-89*

PREBEN OLSEN

### Resumé

I årene 1987-89 undersøgtes på seks sandede landbrugsarealer i Jylland det højtliggende grundvands kvalitet i 5 m, 7,5 m og 10 m dybde. To af arealerne, Fjølstervang og Lyne, er beliggende på bakkeøer, medens arealerne ved Jynde-  
vad, Grindsted, Over Jerstal og Ribe ligger på hedesletter. Der blev foretaget en sammenligning med målinger udført på de samme arealer i årene 1975-79. Anførte gennemsnit dækker over store variationer over tid.

På de fleste hedeslettearealer var koncentrationer af  $\text{NO}_3^-$ -N steget i forhold til tidligere undersøgelser, ligesom der ofte sås forøgede koncentrationer af  $\text{K}^+$ . Specielt i de øverste to dybder var

koncentrationer af  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ -S,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  og  $\text{HCO}_3^-$  mindsket.

Bakkeøerne viste ingen entydig udvikling, hvad angår indhold af  $\text{NO}_3^-$ -N. I 5 m dybde var indholdet uændret, i 10 m faldet. I 7,5 m dybde sås såvel fald som stigning.  $\text{Mg}^{2+}$ -indholdet var mindsket i alle dybder. På én undtagelse nær var dette også sket med indholdet af  $\text{NH}_4^+$ -N. Indholdet af  $\text{PO}_4^{3-}$ -P var steget i 7,5 og 10 m. Egenskaber ved forsøgsudstyret kan gøre det vanskeligt at afgøre, om ændringerne i indholdet af  $\text{NH}_4^+$ -N og  $\text{PO}_4^{3-}$ -P er reelle. Antages den større nedbør i 1987-89 at have medført større afstrømning, kan koncentrationsnedgangen af visse stoffer skyldes en fortynding.

**Nøgleord:** Grundvandsanalyser, grundvandskvalitet, næringsstofindhold.

### Summary

Over the period 1987-89 the groundwater quality was examined in 5 m, 7.5 m and 10 m depths in six fields on sandy soils in Jutland, Denmark. Two of the fields, Fjølstervang and Lyne, were situated on hill islands, an old moraine type of landscape, while the areas of Jynde-  
vad, Grindsted, Over Jerstal and Ribe were situated on outwash plains. Results were compared with findings from a similar investigation carried out at the same locations in 1975-79. Most of the areas on the outwash

plains showed a rise in the  $\text{NO}_3^-$ -N content as well as in  $\text{K}^+$  content. Especially in the two upper depths contents of  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ -S,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  and  $\text{HCO}_3^-$  had diminished.

At the hill islands development in contents of  $\text{NO}_3^-$ -N was ambiguous. In 5 m depth the contents were unchanged, in 10 m they had fallen while in 7.5 m there were found a rise as well as a decline.  $\text{Mg}^{2+}$  content had fallen everywhere, and by one exception the same had happened to the  $\text{NH}_4^+$ -N content. Contents of  $\text{PO}_4^{3-}$ -P had risen in 7.5 and

10 m depths. Due to a possible bias introduced by the equipment changes in the contents of  $\text{NH}_4^+$ -N and  $\text{PO}_4^{3-}$ -P are uncertain.

Given that the larger precipitation in 1987-89 has increased the runoff, lower concentrations measured in the period can be due to a dilution.

**Key words:** Groundwater analyses, groundwater quality, content of nutrients.

## Indledning

I perioden 1975-79 forestod Statens Forsøgsstation i Højer målinger af grundvandskvalitet på jyske sandjorde med højt beliggende grundvandspejl. Undersøgelserne foregik på seks landbrugsarealer, hvoraf fire var placeret på hedesletter og to på bakkeøer.

På disse sandede jorde ønskede man at undersøge grundvandets indhold af næringsstoffer, og om dette blev påvirket af dyrknings- og gødsningspraksis. Til formålet blev der etableret seks målestationer til udtagning af grundvandsprøver i tre dybder. For en nærmere beskrivelse af arealer, udstyr og resultater 1975-79 henvises til *Pedersen* (4).

Statens Forsøgsstation i Jyndeved besluttede i 1987 at genoptage måleprogrammet. Målingerne blev foretaget i de samme punkter på arealerne, da det installerede udstyr stadig var intakt. Her ved var det muligt at sammenligne de målte gennemsnitlige koncentrationer i de to perioder samt vurdere, hvorvidt disse havde ændret sig.

## Metodik

### Prøveudtagninger

I perioden december 1987 til august 1988 blev der på fem af de seks lokaliteter udtaget månedlige vandprøver. Frem til målingerne ophørte i november 1989 blev prøverne udtaget hver anden måned. På de fem lokaliteter blev der i alt udtaget 16 prøver pr. dybde. Den sjette lokalitet, Jyndeved, blev inddraget i undersøgelserne i februar 1989. Her blev der i alt udtaget fem prøver pr. dybde.

Fra december 1988 blev ekstraktionsudstyret tømt for »gammelt« vand umiddelbart før den egentlige prøvetagning. Fra februar 1989 og måleperioden ud blev prøverne presset op til overfladen med kvælstofgas i stedet for trykluft, som beskrevet af *Pedersen* (4), hvorved faren for ændringer af grundvandets sammensætning ved iltning mindskedes.

Vandprøverne blev efter udtagning nedkølet til under 5°C, opbevaret mørkt og hurtigst muligt

nedfrosset. Prøverne blev frosne sendt til Centrallaboratoriet, Foulum, hvor de blev analyseret for indhold af  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ -N,  $\text{NO}_3^-$ -N,  $\text{PO}_4^{3-}$ -P,  $\text{SO}_4^{2-}$ -S,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  og  $\text{Mg}^{2+}$ . Tillige målttes pH og ledningsevne. Efter analysen var foretaget, blev ionbalancen kontrolleret. Var afvigelsen mellem anioner og kationer mere end 10 pct., blev prøven analyseret om.

### Nedbør

Kun ved Jyndeved blev nedbøren målt på stedet. Derfor vises i tabel 1 den gennemsnitlige nedbør pr. kvartal i årene 1987-89 for Ringkøbing Amt (lokaliteterne Fjelsevang og Lyne), Ribe Amt (Grindsted og Ribe) og Sønderjyllands Amt (Over Jerstal og Jyndeved). Nedbøren er målt i 1,5 m højde.

Det fremgår af tabellen, at nedbøren i årene 1987 og 1988 i alle amter lå væsentlig over normalen for 1931-60, medens den i 1989 lå under. I tabellen er tillige vist den gennemsnitlige årsnedbør for perioderne 1975-79 og 1987-89. Den gennemsnitlige årlige nedbør var cirka 90 mm større for perioden 1987-89 end for perioden 1975-79. Forskellene skyldtes hovedsagelig store nedbørsmængder i 4. kvartal 1987, i 3. kvartal 1988 og i 1. kvartal 1989.

### Afgrøder

I tabel 2 er vist de afgrøder, der blev dyrket på arealerne fra 1986 til 1989. Kun disse fire år er medtaget, da der råder usikkerhed om sædkifterne før 1986. Dette skyldes dels manglende optegnelser hos ejerne, dels at flere ejendomme har skiftet ejer siden 1979.

De samlede tilførsler af mineralsk kvælstof har - ifølge det oplyste - været 100-130 kg til korn, 150-175 kg til kartofler, 120-220 kg til raps, 110 kg til frøgræs og 250 kg til græs. Derudover er organisk gødning i form af fast staldgødning eller gylle tilført korn, raps, græsfrø og ærter. De eksakte mængder kendes ikke.

**Table 1.** Nedbør, mm pr. kvartal og år, normal 1931-60 og gennemsnit for perioderne 1975-79 og 1987-89.  
*Precipitation, mm per quarter and year, normal 1931-60 and average of the periods 1975-79 and 1987-89.*

År Year	Kvartal Quarter	Amt, County					
		Ringkøbing		Ribe		Sønderjylland	
1987	1	124		127		120	
	2	170		170		178	
	3	242		270		251	
	4	345	881	336	903	299	848
1988	1	304		316		301	
	2	127		134		149	
	3	366		374		331	
	4	203	1000	217	1041	211	992
1989	1	214		197		204	
	2	131		121		134	
	3	136		116		127	
	4	238	719	220	654	190	655
Normal 1931-60	1	148		144		142	
	2	127		131		138	
	3	258		258		250	
	4	226	759	218	751	200	730
Gns. 1975-79 Average		772		772		749	
Gns. 1987-89 Average		867		866		831	

**Table 2.** Afgrøder på lokaliteterne 1986-89.  
*Crops at the localities 1986-89.*

Sted Locality	1986	1987	1988	1989
Grindsted	Kartofler Potatoes	Byg m. udlæg Barley with ley	Frøgræs Seed grass	Kartofler Potatoes
Ribe	Vårbyg m. udlæg Barley with ley	Græs Grass	Byg m. udlæg Barley with ley	Byg m. udlæg Barley with ley
Over Jerstal	Græs Grass	Raps Rape	Vinterbyg Winter barley	Byg Barley
Jyndeved	Græs Grass	Græs Grass	Byg Barley	Kløvergræs Clover grass
Fjelsestervang	Ærter Peas	Hvede Wheat	Raps Rape	Ærter Peas
Lyne	Hvede Wheat	Raps Rape	Byg Barley	Byg Barley

**Tabel 3.** Næringsstofindhold i grundvand på 6 lokaliteter, mg pr. liter. Gennemsnit 1987-89.  
*Nutrient content in ground water at 6 localities, mg per litre. Average 1987-89.*

Lokalitet <i>Locality</i>	Dybde <i>Depth</i> m	Antal analyser <i>No. of analyses</i>	pH	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> -S	Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
Over Jerstal	5,0	16	6,4	1,44	0,074	17,4	6,7	3,0	47	18,0	12	27	55
	7,5		7,0	0,88	0,059	10,8	3,4	4,3	67	20,7	13	18	88
	10,0		6,9	0,72	0,040	10,8	1,5	5,6	64	21,8	13	20	78
Ribe	5,0	16	5,3	1,88	0,101	16,0	13,6	3,8	46	25,3	12	40	10
	7,5		5,4	0,48	0,042	13,3	5,7	2,6	37	16,6	10	31	14
Grindsted	5,0	16	5,0	0,68	0,044	11,0	8,1	2,4	44	24,5	11	22	7
	7,5		4,6	0,57	0,076	10,6	5,7	3,1	39	19,4	15	28	3
	10,0		4,8	1,03	0,065	9,9	5,5	2,2	39	16,5	15	24	9
Lyne	5,0	16	5,8	0,90	0,244	18,9	10,9	2,1	12	5,7	9	30	19
	7,5		7,3	1,14	0,206	14,6	1,3	4,1	84	0,1	13	28	215
	10,0		7,4	0,52	0,160	15,1	1,5	4,6	85	0,1	12	27	222
Fjølstervang	5,0	16	5,4	0,45	0,064	11,5	5,9	1,3	26	9,9	10	24	10
	7,5		4,9	0,34	0,071	11,1	7,0	1,7	38	6,0	20	31	9
	10,0		4,7	0,14	0,154	8,4	2,2	3,5	27	0,1	23	22	10
Jynde vad	5,0	5	6,0	0,91	0,028	9,8	5,3	4,0	18	9,7	10	15	12
	7,5		5,4	0,41	0,058	9,6	4,4	3,5	17	10,0	8	11	9
	10,0		6,7	0,66	0,010	13,7	1,6	6,0	43	8,8	13	33	74

## Resultater

I tabel 3 er vist de gennemsnitlige pH-værdier og indholdet af næringsstoffer for de enkelte lokaliteter og dybder i perioden 1987-89.

Der findes ingen entydig sammenhæng mellem pH og dybde.

Ved Lyne stiger pH med dybden, mens det falder ved Fjølstervang.

Mængden af HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> varierer betydeligt mellem stederne. Størst er indholdet ved Jynde vad i 10 m, Lyne i 7,5 og 10 m og Over Jerstal i 5, 7,5 og 10 m.

Indholdet af Na<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup> og SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>-S varierer meget lidt mellem stederne. Cl<sup>-</sup>-koncentrationerne synes ikke at afhænge af udtagelsesdybden. Na<sup>+</sup>-indholdet er på fem af seks steder størst i 5 m's dybde og aftager på fire af seks steder med dybden. Indholdet af SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>-S er lavest i 5 m's dybde og tiltager på fire af seks steder med dybden. Ved Fjølstervang bemærkes et stort indhold af SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>-S i 7,5 og 10 m's dybde.

På de to bakkeølokaliteter, Lyne og Fjølstervang, er NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N-indholdet i 7,5 og især 10 m's dybde tydeligt mindre end i de tilsvarende dybder på de fire hedeslettelokaliteter.

Indholdet af Ca<sup>2+</sup> varierer en del mellem stederne og synes uafhængigt af dybden. Størst koncentration af Ca<sup>2+</sup> findes i 7,5 og 10 m's dybde ved Lyne og Over Jerstal. Ved Jynde vad måles en relativ høj koncentration af Ca<sup>2+</sup> i 10 m's dybde.

Indholdet af Mg<sup>2+</sup> tiltager med dybden på 4 af lokaliteterne. Høje indhold af Ca<sup>2+</sup> og Mg<sup>2+</sup> afspejler sig i høje pH-værdier og stort HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>-indhold.

Koncentrationerne af NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N og K<sup>+</sup> er som oftest størst i 5 m's dybde. Indholdet af de tre stoffer aftager de fleste steder med dybden. Der er en stor variation i PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-P-indholdet fra sted til sted, medens variationen mellem dybderne på det enkelte sted er mindre. Der ses et stort indhold i 10 m's dybde ved Fjølstervang. Ved Lyne er indholdet stort i alle dybder.

I figurerne 1-11 vises for hver dybde og lokalitet gennemsnitlige pH-værdier og indhold af næringsstoffer i perioderne 1975-79 og 1987-89. Ved udregning af gennemsnit er foretaget en vægtning, så forskelle i prøvetagningshyppighed i de to perioder udlignes. Gennemsnit for perioden

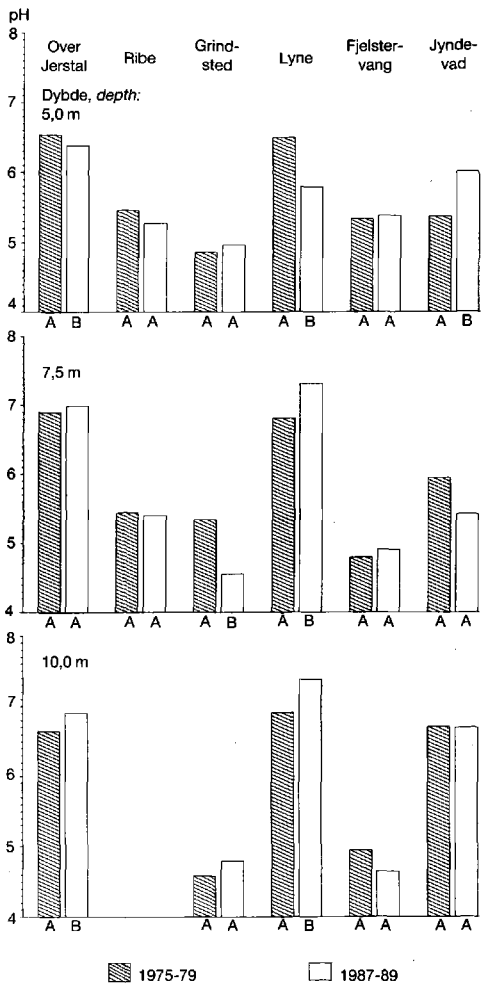


Fig. 1. pH i 3 dybder. Søjler med samme bogstav inden for samme lokalitet er ikke signifikant forskellige ( $p < 0,05$ ).

*pH in 3 depths. Columns with the same letter within the same locality are not significantly different ( $p < 0.05$ ).*

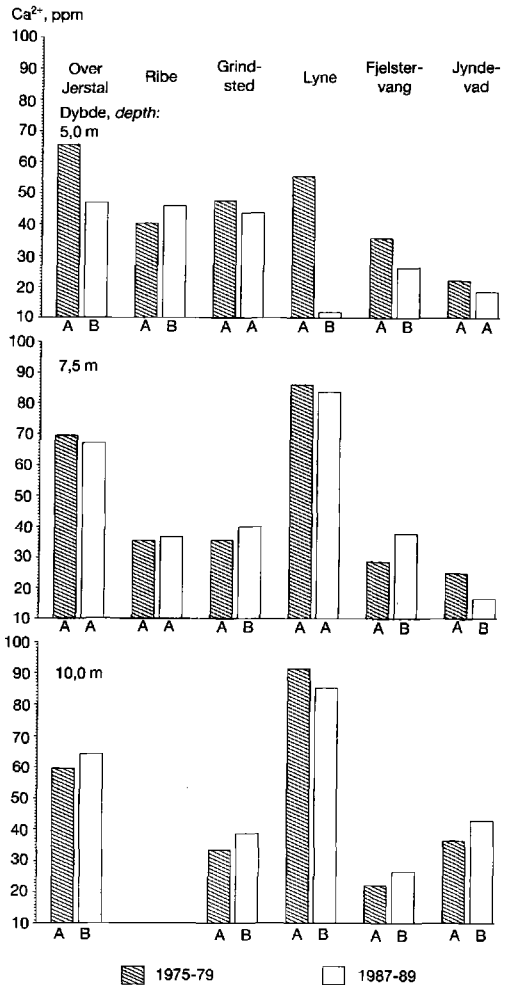


Fig. 2. Ca<sup>2+</sup>, ppm, i 3 dybder. Bogstaver under søjler, se fig. 1.

*Ca<sup>2+</sup>, ppm, in 3 depths. Letters below columns, see Fig. 1.*

1975-79 er baseret på mellem 50 og 80 målinger pr. sted og dybde. Med en t-test er undersøgt, hvorvidt forskellen mellem de to perioders gennemsnit på et givet sted afviger fra nul. Testresultatet angiver sandsynligheden for, at afvigelsen fra nul er tilfældig. I figurerne er resultatet af testen angivet med bogstaver under søjlerne. Så-

fremt to gennemsnit ikke er signifikant forskellige ( $P < 0,05$ ), vil bogstaverne under to sammenhørende søjler være ens.

Bemærk, at akseinddelingen i de enkelte figurer ikke altid begynder ved nul.

Af fig. 1 ses pH at være steget signifikant ved Over Jerstal (10 m), Lyne (7,5 og 10 m) samt Jyn-

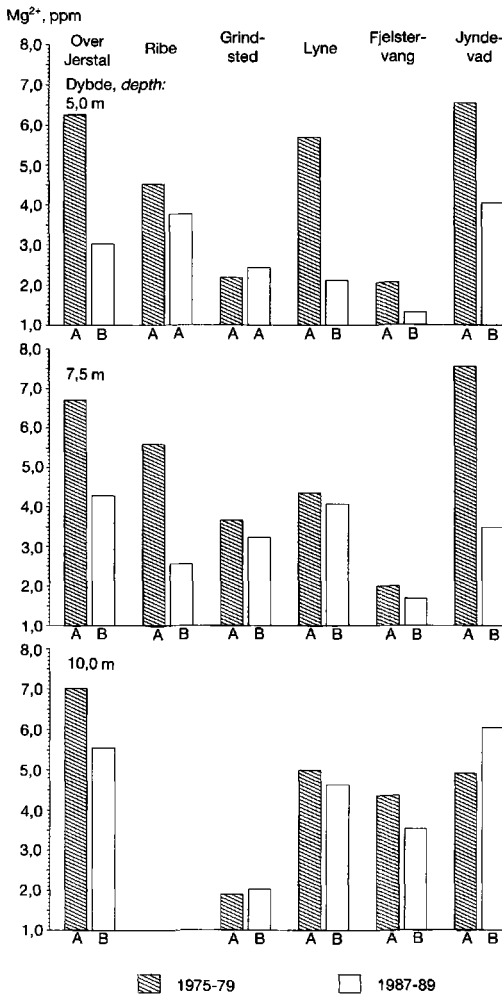


Fig. 3. Mg<sup>2+</sup>, ppm, i 3 dybder. Bogstaver under søjler, se fig. 1.

Mg<sup>2+</sup>, ppm, in 3 depths. Letters below columns, see Fig. 1.

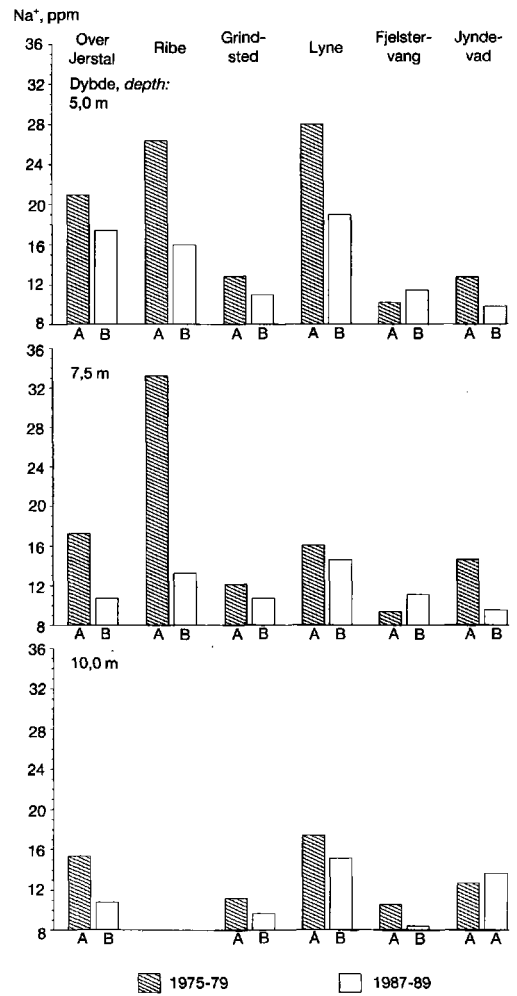


Fig. 4. Na<sup>+</sup>, ppm, i 3 dybder. Bogstaver under søjler, se fig. 1.

Na<sup>+</sup>, ppm, in 3 depths. Letters below columns, see Fig. 1.

devad (5 m). Omvendt er pH faldet ved Grindsted (7,5 m) og Lyne (5 m). Det bemærkes, at de fundne ændringer er små – mellem 0,1 og 0,7 pH-enheder. Der ses ingen entydig sammenhæng mellem pH og dybde.

Koncentrationerne af Ca<sup>2+</sup> (fig. 2) er mindsket i 5 m's dybde ved Over Jerstal, Lyne og Fjelstervang, men steget ved Ribe. I 7,5 m er indholdet steget ved Grindsted og Fjelstervang og faldet ved Jynde vad. I 10 m's dybde ses mindskede koncentrationer ved Lyne. Alle øvrige steder er indholdet steget. Der er store variationer i Ca<sup>2+</sup>-indholdet stederne imellem – mindre mellem dybderne på det enkelte sted. Største koncentrationer af

devad (5 m). Omvendt er pH faldet ved Grindsted (7,5 m) og Lyne (5 m). Det bemærkes, at de fundne ændringer er små – mellem 0,1 og 0,7 pH-enheder. Der ses ingen entydig sammenhæng mellem pH og dybde.

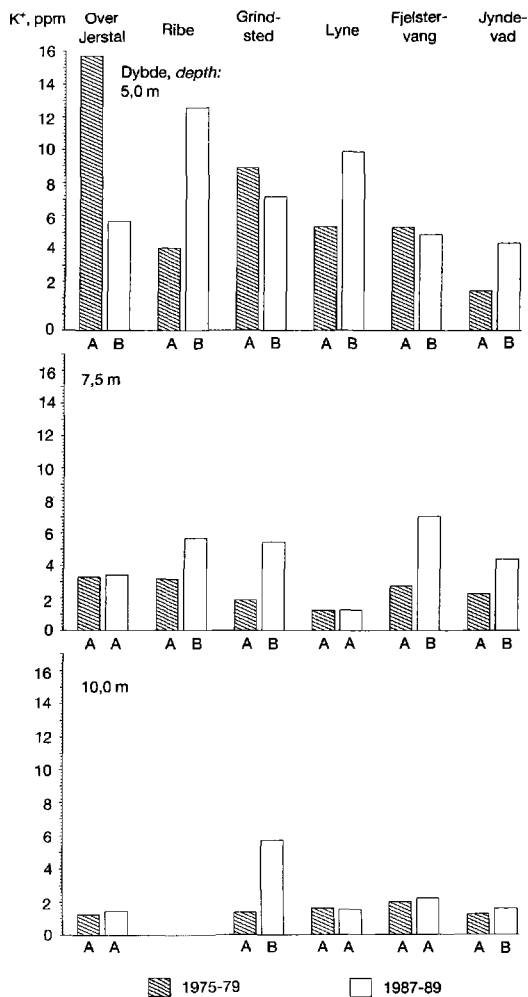


Fig. 5.  $K^+$ , ppm, i 3 dybder. Bogstaver under søjler, se fig. 1.

$K^+$ , ppm, in 3 depths. Letters below columns, see Fig. 1.

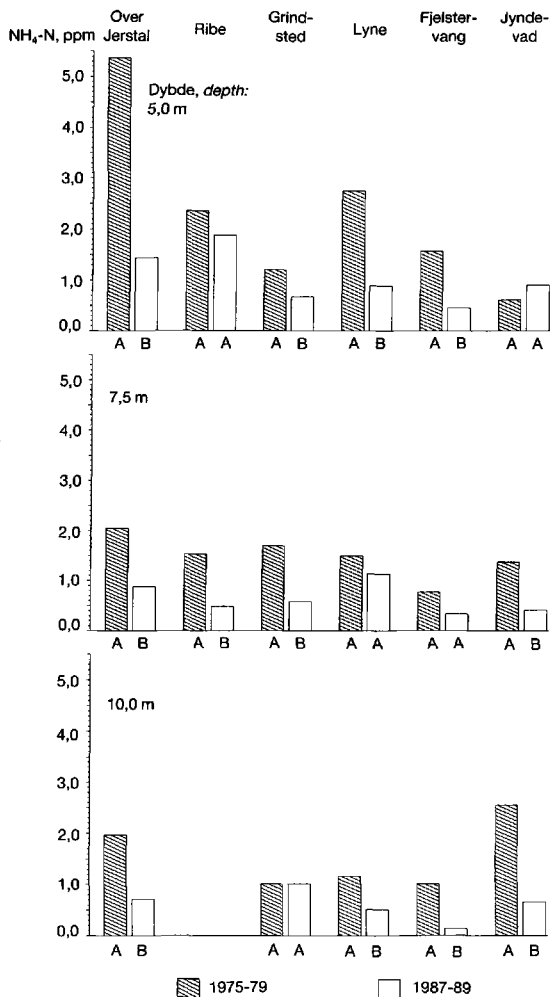


Fig. 6.  $NH_4^+-N$ , ppm, i 3 dybder. Bogstaver under søjler, se fig. 1.

$NH_4^+-N$ , ppm, in 3 depths. Letters below columns, see Fig. 1.

$Ca^{2+}$  findes ved Over Jerstal og Lyne i 7,5 og 10 m's dybde.

Fig. 3 viser signifikante fald i  $Mg^{2+}$ -indholdet i alle dybder ved Over Jerstal, Lyne og Fjelstervang samt ved Ribe, Grindsted og Jydevad i 7,5 m. Indholdet er steget i 10 m ved Grindsted og Jydevad. På 4 af lokaliteterne tiltager koncentrationen af  $Mg^{2+}$  med dybden.

$Na^+$ -indholdet (fig. 4) er steget ved Fjelstervang (5 og 7,5 m), men er uændret ved Jydevad (10 m). Alle øvrige steder er  $Na^+$ -indholdet faldet signifikant. Stigningerne er små – mellem 1,5 og 2,1 ppm. Faldene er relativt større – mellem 1,1 og 20,0 ppm. Størst  $Na^+$ -indhold ses på fem af seks steder i 5 m's dybde. På fire af seks steder aftager indholdet med dybden.

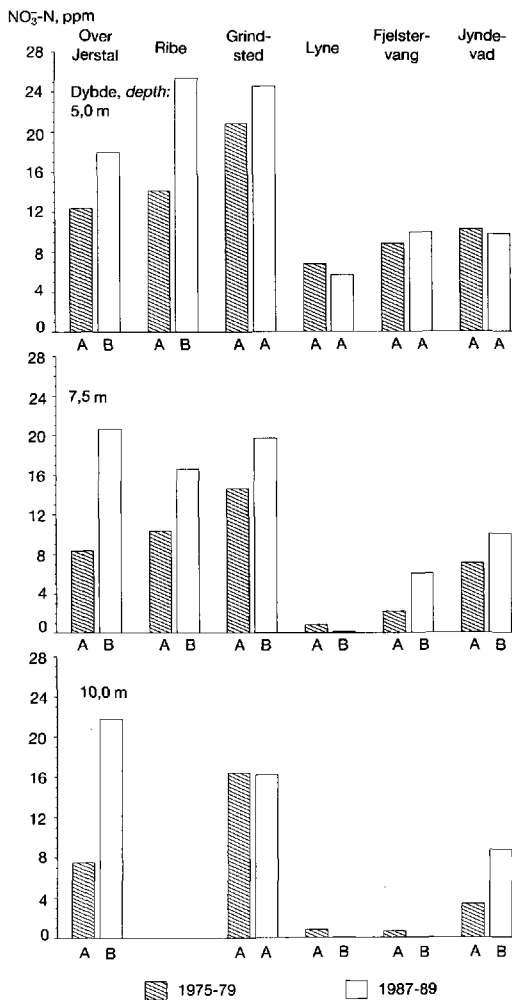


Fig. 7.  $\text{NO}_3\text{-N}$ , ppm, i 3 dybder. Bogstaver under søjler, se fig. 1.  
 $\text{NO}_3\text{-N}$ , ppm, in 3 depths. Letters below columns, see Fig. 1.

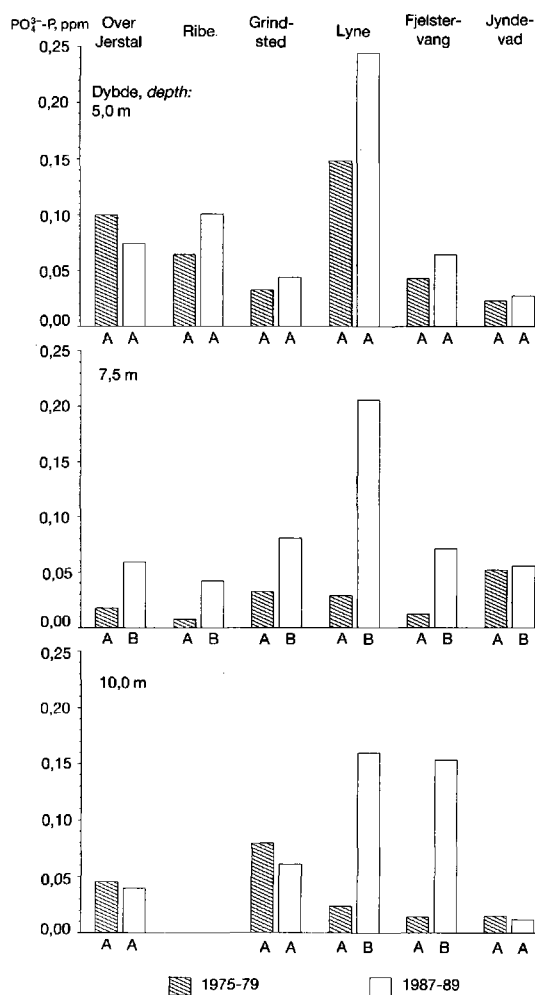


Fig. 8.  $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ , ppm, i 3 dybder. Bogstaver under søjler, se fig. 1.  
 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ , ppm, in 3 depths. Letters below columns, see Fig. 1.

Indholdet af  $\text{K}^+$  (fig. 5) er steget ved Ribe (5 og 7,5 m), Grindsted (7,5 og 10 m), Lyne (5 m), Fjølstervang (7,5 m) samt i alle dybder ved Jydevad. Ved Over Jerstal og Grindsted er indholdet faldet i 5 m. De fleste steder er koncentrationen af  $\text{K}^+$  størst i 5 m's dybde og aftagende med dybden. I 5 m's dybde ses tillige de største koncentrationsændringer de to perioder imellem.

Indholdet af  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  (fig. 6) er – på nær Ribe (5 m), Jydevad (5 m), Lyne (7,5 m) og Grindsted (10 m) – faldet signifikant. Største koncentrationer er målt i 5 m's dybde.

Ved Over Jerstal og Ribe er indholdet af  $\text{NO}_3\text{-N}$  steget signifikant i alle dybder (fig. 7). Øget indhold ses tillige i 7,5 m's dybde ved Grindsted og Fjølstervang samt Jydevad (7,5 og 10 m). Indhol-



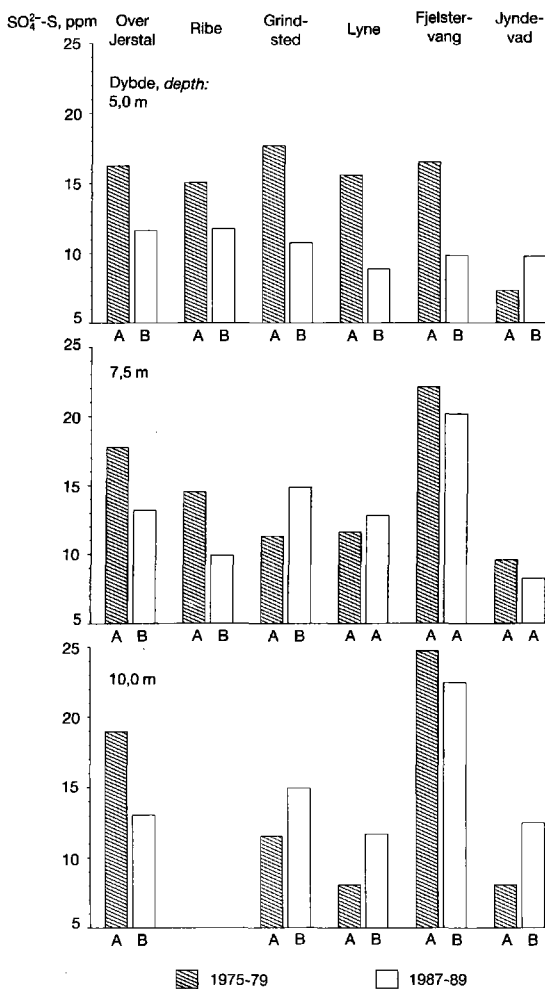


Fig. 9. SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>-S, ppm, i 3 dybder. Bogstaver under søjler, se fig. 1.  
 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>-S, ppm, in 3 depths. Letters below columns, see Fig. 1.

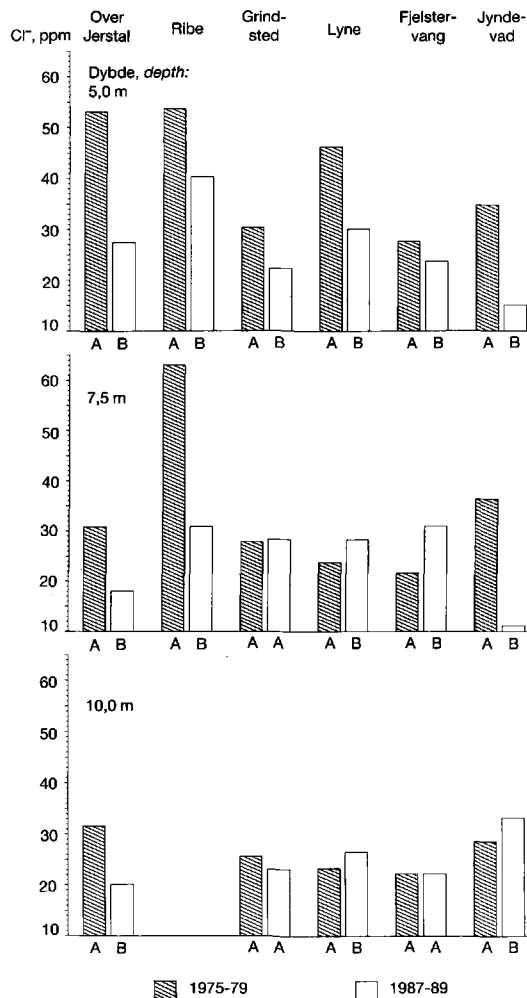


Fig. 10. Cl<sup>-</sup>, ppm, i 3 dybder. Bogstaver under søjler, se fig. 1.

Cl<sup>-</sup>, ppm, in 3 depths. Letters below columns, see Fig. 1.

det i grundvandet på bakkeølokaliteterne – Lyne (7,5 og 10 m) og Fjølstervang (10 m) – er mindsket.

Fig. 8 viser et på alle lokaliteter uændret PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-P-indhold i 5 m's dybde. I 7,5 m's dybde er indholdet – med undtagelse af Jynde vad – steget signifikant. Stigningerne betyder, at grundvandets indhold af PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-P er mere end fordoblet. I 10 m's

dybde er indholdet af PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-P mangedoblet ved Lyne og Fjølstervang.

Der ses et mindsket SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>-S-indhold (fig. 9) i alle dybder ved Over Jerstal og Ribe. Indholdet er ligeledes mindsket i 5 m's dybde ved Grindsted, Lyne og Fjølstervang. Sidstnævnte lokalitet tillige i 10 m. Koncentrationerne er steget ved Grindsted (7,5 og 10 m), Lyne (10 m) samt Jynde vad (5 og 10

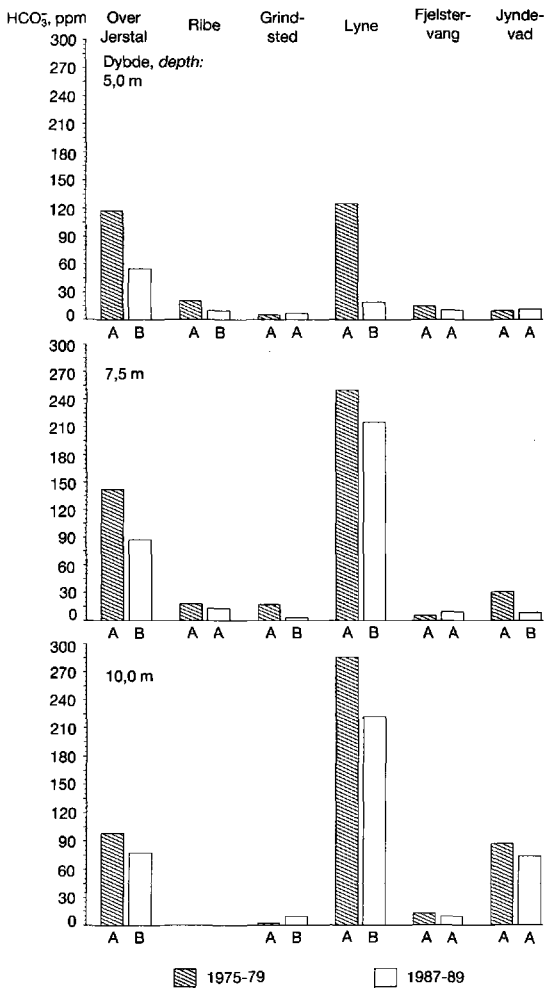


Fig. 11. HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, ppm, i 3 dybder. Bogstaver under søjler, se fig. 1.  
*HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, ppm, in 3 depths. Letters below columns, see Fig. 1.*

m). Indholdet af SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>-S er i reglen mindst i 5 m's dybde. På fire af seks lokaliteter øges indholdet med dybden. Ved Fjelstervang bemærkes et stort indhold af SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>-S i 7,5 og 10 m's dybde.

Indholdet af Cl<sup>-</sup> er gået signifikant tilbage i 5 m's dybde ved alle lokaliteter (fig. 10). I 7,5 m er indholdet faldet ved Over Jerstal, Ribe og Jydevad, medens der ses stigning ved Lyne og Fjelstervang.

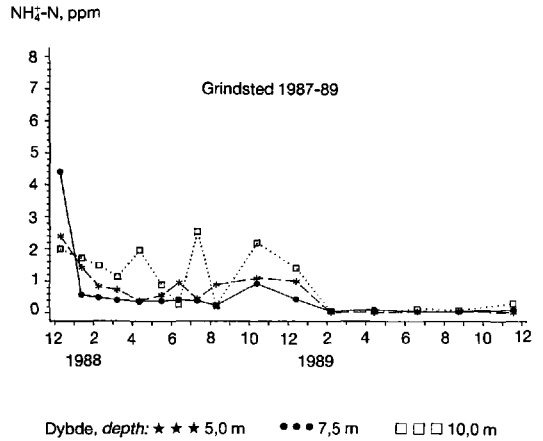


Fig. 12. Koncentration af NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N, ppm.  
*Concentration of NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N, ppm.*

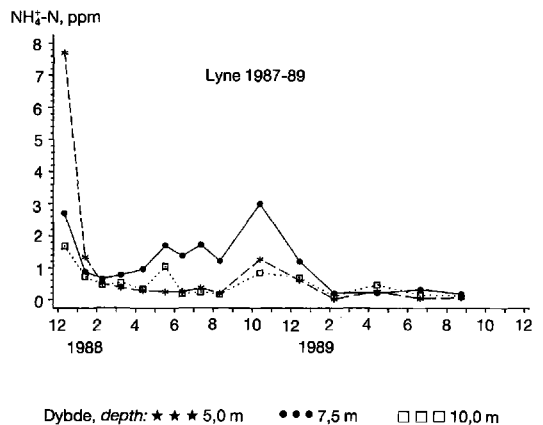
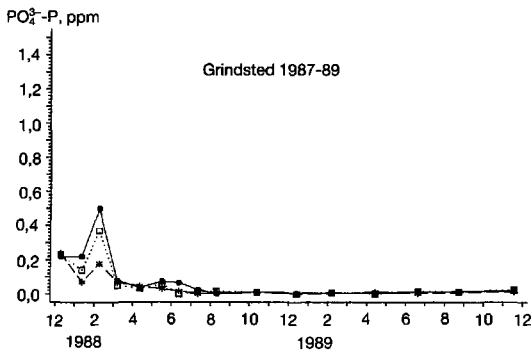


Fig. 13. Koncentration af NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N, ppm.  
*Concentration of NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N, ppm.*

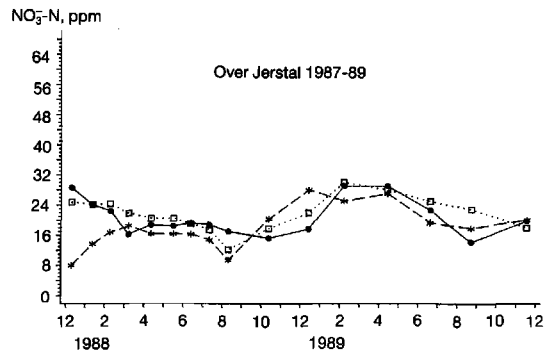
I 10 m's dybde er indholdet mindsket ved Over Jerstal, men øget ved Lyne og Jydevad. Indholdet af Cl<sup>-</sup> er i ringe grad afhængig af udtagningsdybde.

Koncentrationerne af HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> (fig. 11) er mindsket i alle dybder ved Over Jerstal og Lyne, ved Ribe (5 m) samt Grindsted og Jydevad (7,5 m). Forøget indhold ses i 10 m's dybde ved Grindsted.



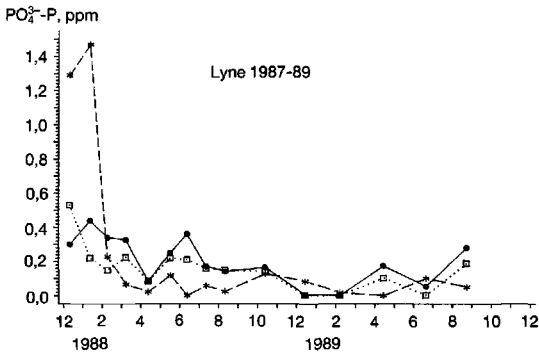
Dybde, depth: ★ ★ ★ 5,0 m ● ● ● 7,5 m □ □ □ 10,0 m

Fig. 14. Koncentration af  $PO_4^{3-}$ -P, ppm.  
Concentration of  $PO_4^{3-}$ -P, ppm.



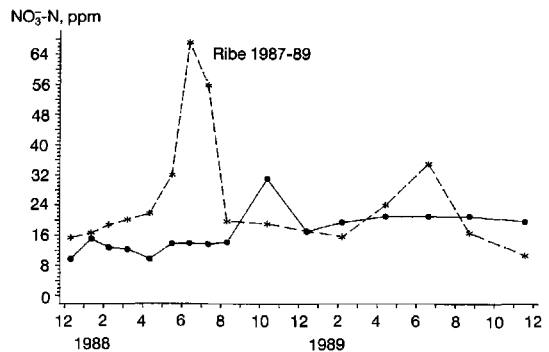
Dybde, depth: ★ ★ ★ 5,0 m ● ● ● 7,5 m □ □ □ 10,0 m

Fig. 16. Koncentration af  $NO_3^-$ -N, ppm.  
Concentration of  $NO_3^-$ -N, ppm.



Dybde, depth: ★ ★ ★ 5,0 m ● ● ● 7,5 m □ □ □ 10,0 m

Fig. 15. Koncentration af  $PO_4^{3-}$ -P, ppm.  
Concentration of  $PO_4^{3-}$ -P, ppm.



Dybde, depth: ★ ★ ★ 5,0 m ● ● ● 7,5 m

Fig. 17. Koncentration af  $NO_3^-$ -N, ppm.  
Concentration of  $NO_3^-$ -N, ppm.

Indholdet varierer meget mellem stederne. De absolut største indhold findes ved Lyne i 7,5 og 10 m. Ligeledes er indholdet relativt stort i alle tre dybder ved Over Jerstal samt ved Jyndevad i 10 m.

For bedre at forstå de høje gennemsnitskoncentrationer af  $NH_4^+$ -N og  $PO_4^{3-}$ -P bør man kende de to stoffers koncentrationsforløb over tiden. Fig. 12 og 13 viser  $NH_4^+$ -N-indholdets forløb ved

Grindsted (hedeslette) og Lyne (bakkeø).

De første ca. 14 måneder er indholdet højt og meget svingende, hvorefter det falder til et mindre og i alle dybder nær ens indhold. Lignende koncentrationsforløb kunne iagttages ved andre lokaliteter.

$PO_4^{3-}$ -P-indholdets forløb for de samme steder vises i fig. 14 og 15. Indholdet er højt i starten

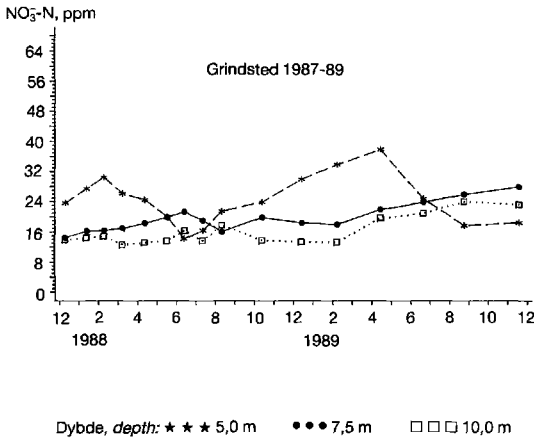


Fig. 18. Koncentration af  $\text{NO}_3^-$ -N, ppm.  
Concentration of  $\text{NO}_3^-$ -N, ppm.

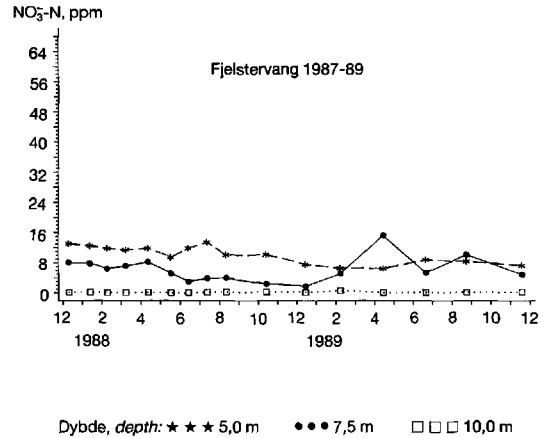


Fig. 20. Koncentration af  $\text{NO}_3^-$ -N, ppm.  
Concentration of  $\text{NO}_3^-$ -N, ppm.

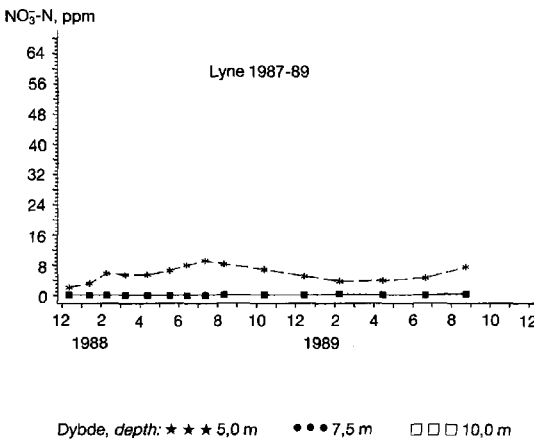


Fig. 19. Koncentration af  $\text{NO}_3^-$ -N, ppm.  
Concentration of  $\text{NO}_3^-$ -N, ppm.

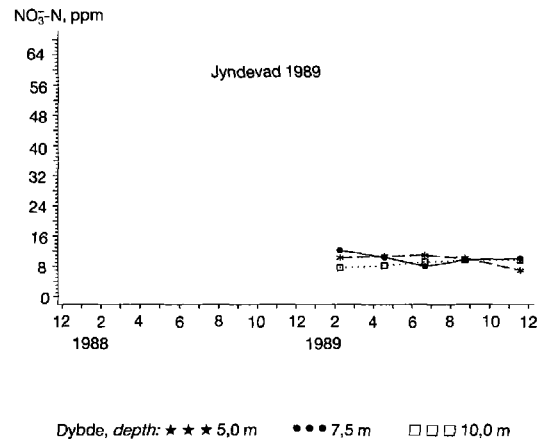


Fig. 21. Koncentration af  $\text{NO}_3^-$ -N, ppm.  
Concentration of  $\text{NO}_3^-$ -N, ppm.

af måleperioden. Efter ca. otte måneders prøve-tagning er koncentrationen af  $\text{PO}_4^{3-}$ -P ved Grindsted faldet til et mindre og i alle tre dybder nær ens indhold, medens indholdet ved Lyne vedbliver at ligge højt.

I fig. 16-21 er vist indholdet af  $\text{NO}_3^-$ -N på de seks lokaliteter for perioden 1987-89. Der ses stor variation i koncentrationerne fra sted til sted og stor

variation mellem dybderne på den enkelte lokalitet.  $\text{NO}_3^-$ -N-indholdet aftager i reglen med dybden. Ved Ribe (fig. 17) bemærkes i juni måned 1988 en markant top i 5 m's dybde. Fire måneder senere ses en lignende, men mindre top i 7,5 m.

På bakkeølokaliteterne Lyne og Fjeltstervang (fig. 19 og 20) er indholdet af  $\text{NO}_3^-$ -N i 10 m's dybde på intet tidspunkt over 1,0 ppm. Denne mæng-

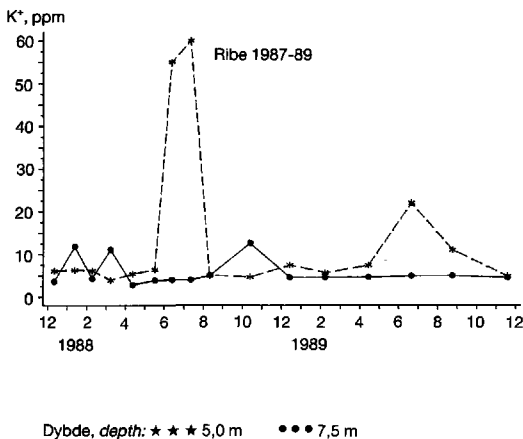


Fig. 22. Koncentration af K<sup>+</sup>, ppm.  
Concentration of K<sup>+</sup>, ppm.

de bliver heller ikke overskredet i 7,5 m's dybde ved Lyne. Begge lokaliteter har et jævnt koncentrationsforløb end hedeslettelokaliteterne.

K<sup>+</sup>-indholdet i grundvandet udviser små forskelle mellem stederne, og forskellene mellem dybderne på de enkelte lokaliteter er små. Ved Ribe har koncentrationerne (fig. 22) det samme markante forløb, som tilfældet var for NO<sub>3</sub>-N. Lignende markante koncentrationstoppe sås for indhold af Na<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>, Ca<sup>2+</sup> og Mg<sup>2+</sup> og til dels NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N.

## Diskussion

Sammenligning af pH-værdier for de to perioder viser kun små ændringer over tiden. Forsuringen af jorden som følge af udvaskning af baser som Ca<sup>2+</sup> og Mg<sup>2+</sup> med den nedsivende overskudsnedbør modvirkes af, at landbrugsarealerne vedligeholdes med kalkning. Sammenhængen mellem pH, Ca<sup>2+</sup>- og Mg<sup>2+</sup>-indhold ses af fig. 1, 10 og 11. Højt baseindhold betinger højt pH og omvendt.

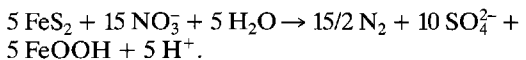
Da tidligere tiders svovlrige, mineralske gødninger som fx superfosfater i dag især er afløst af svovlfattige NPK- og PK-gødninger, er atmosfærisk deposition af stor betydning for tilførslen af SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>-S til arealerne (7). Mindsket koncentration af SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>-S i det øvre grundvand bør derfor både ses i lyset af ændret gødningssammensætning og nedsat emission af svovldioxid fra fx kraftværker. Øget dyrkning af svovlforbrugende afgrøder kan tillige have betydning.

Trods signifikante fald på flere lokaliteter er indholdet af NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N stadig større, end hvad der er fundet i drænvand (5). Dette kan dels skyldes forurening fra de i målestationerne anvendte nylon-slanget (1), dels en mulig frigørelse af adsorberet ammonium fra kopperne i specielt den første del af måleperioden. Det er ligeledes muligt, at kopperne har afgivet adsorberet fosfor i starten af måleperioden. Kopperne, der ved starten af prøvetagningen 1987 har kunnet berige prøverne, er gradvis blevet bragt i koncentrationsligevægt med det omgivende grundvand. Når keramikopper fungerer som ionbyttere (3, 8), vil det specielt have betydning ved måling af ioner, der forekommer i små koncentrationer i grundvandet.

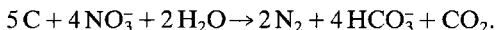
Måleprogrammets oprindelige formål – at skaffe viden om grundvandets kemiske sammensætning og at undersøge, hvorvidt sammensætningen påvirkedes af udvaskningen af plantenæringsstoffer fra lette sandjorde (5) – vanskeliggøres af flere forhold. Således har hver af de seks grundvandsstationer kun én keramikopper pr. dybde, hvorfor variationen på en given måling ikke kan bestemmes. Tillige er kopperne placeret få meter fra naboskel, og hydrauliske strømningsforhold på stederne er ikke undersøgt. Disse begrænsninger til trods ses i fig. 17 og 22, hvordan dyrkningen af et areal kan påvirke grundvandskvaliteten. Den milde og fugtige vinter 1987–88 medførte stor mineralisering og udvaskning fra græsmarken, der inden opløjning i vinteren 1987–88 blev tilført 25–30 t gylle/ha.

De lave koncentrationer af NO<sub>3</sub>-N på bakkeølokaliteterne Lyne og Fjølstervang (fig. 19 og 20) betinges af forskellige forhold i undergrunden. Ved Fjølstervang bemærkes et lavt pH og en høj koncentration af SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>-S i 7,5 og 10 m's dybde.

Dette tyder på, at reduktionen af nitrat sker ved oxidation af pyrit (2, 6) fx efter ligningen:



Ved Lyne kan nitratreduktionen tænkes at ske ved hjælp af brunkul efter følgende ligning (2):



Forfatterne angiver, at der ved processen frigives PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-P fra brunkullene, hvilket også synes at ske på lokaliteten. Da opløseligheden af CaCO<sub>3</sub> er stærkt afhængig af CO<sub>2</sub>-partialtrykket (7), kan

ovenstående ligning tillige forklare de store indhold af  $\text{Ca}^{2+}$  på stedet. I 5 m ses stort  $\text{PO}_4^{3-}$ -P-indhold, men fald i såvel pH som i indholdet af  $\text{HCO}_3^-$  og  $\text{Ca}^{2+}$ . Dette kan muligvis skyldes, at reduktionskapaciteten er ved at være opbrugt.

Generelt er indholdet af  $\text{NO}_3^-$ -N i 7,5 og især 10 m's dybde tydeligt mindre på bakkeølokaliteter end i de tilsvarende dybder på hedeslette-lokaliteter. Det bemærkes, at koncentrationsnedgangene på bakkeøerne er under 1 ppm, hvorimod stigningerne på hedesletterne er mellem 3 og 14 ppm  $\text{NO}_3^-$ -N.

## Konklusion

Grundvandets kemiske sammensætning på de undersøgte lokaliteter blev fundet at have ændret sig imellem de to perioder. Stigning i grundvandets indhold af  $\text{NO}_3^-$ -N blev fundet på især hedeslette-lokaliteter.  $\text{NO}_3^-$ -N-mængderne aftog med dybden. Ved Over Jerstal var indholdet dog stigende med dybden.

På flere lokaliteter – specielt hedeslettearealerne – sås øget indhold af  $\text{K}^+$ . Indholdet aftog med dybden. Især lokaliteten ved Over Jerstal afveg fra det generelle billede. Koncentrationerne af  $\text{Cl}^-$  og  $\text{SO}_4^{2-}$ -S var med en enkelt undtagelse mindsket i 5 m's dybde på såvel bakkeø- som hedeslettearealerne. Gennemgående sås på begge arealtyper mindsket indhold af  $\text{Na}^+$  og  $\text{Mg}^{2+}$ . Nedgangen i indholdet af  $\text{NH}_4^+$ -N og stigningen i  $\text{PO}_4^{3-}$ -P-indholdet er som følge af de omtalte problemer med forsøgsudstyret behæftet med usikkerhed.

Da koncentrationsændringer kan ske endog meget hurtigt på sandjorde, vil undersøgelser af grundvandskvalitet kræve hyppige prøvetagninger, idet der ellers er risiko for, at ekstreme værdier ikke bliver målt.

## Litteratur

1. *Bennetzen, F.* 1978. Vandbalance og kvælstofbalance ved optimal planteproduktion. 2. Teknik og metoder. Tidsskr. Planteavl 82, 173-189.
2. *Kölle, W. & Schreeck, D.* 1982. Effects of Agricultural Activity on the Quality of Groundwater in a Reducing Underground. In: Memoirs Vol. XVI, Part 2 Proc. Int. Symposium IAH, Prague Czechoslovakia 1982. »Impact of Agricultural Activities on Groundwater«, Novinar Publishing House, 1982, Prague.
3. *Nagpal, N. K.* 1982. Comparison among and evaluation of ceramic porous cup soil water samplers for nutrient transport studies. Can. J. Soil Sci. 62, 685-694.
4. *Pedersen, E. F.* 1982. Grundvandsundersøgelser på sandjord 1975-79. Tidsskr. Planteavl 86, 543-565.
5. *Pedersen, E. F.* 1983. Drænvandsundersøgelser 1971-81. Statens Planteavlsforsøg. Beretning nr. S 1667, 53 pp.
6. *Postma, D.; Boesen, C. & Engesgaard, P.* 1989. Grundvandskemi i Rabis bæk tracé: Landbrugspåvirkning og nitratomsætning. Vand og Miljø 6, 85-88.
7. *Schachtschabel, P.; Blume, H. P.; Hartge, K. H. & Schwertmann, U.* 1984. Lehrbuch der Bodenkunde. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart. 442 pp.
8. *Zimmermann, C. F.; Price, M. T. & Montgomery, J. R.* 1978. A comparison of ceramic and teflon in situ samplers for nutrient pore water determinations. Estuarine Coastal Marine Science 7, 93-97.

Manuskript modtaget den 10. oktober 1990.