

september 1984

NOTA 1566 ^I

Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding
Wageningen

NN31545.1566

KOSTEN VAN NITRAATVERWIJDERING UIT GRONDWATER DOOR IONENWISSELING

J.P. van der Hoek*



*Vakgroep Waterzuivering, Landbouwhogeschool, Wageningen

ISBN = 210992-01

26 MAART 1985

Het onderzoek dat in deze nota wordt beschreven, is een verslag van de werkzaamheden die zijn uitgevoerd in het kader van de 'Werkgroep Nitraatuitspoeling Waterwingebieden' van het Ministerie van Landbouw en Visserij. De verslaggeving van dit onderzoek vindt niet plaats in een publikatiereeks van de Landbouwhogeschool. Het Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding heeft dit verslag opgenomen in haar serie 'Nota's' om een ruime verspreiding te bevorderen. Het instituut is niet verantwoordelijk voor de inhoud van deze nota.

Voor inlichtingen over het in deze nota beschreven onderzoek dient de lezer zich in verbinding te stellen met de auteur of met dr. A. Klapwijk, beiden werkzaam bij de Vakgroep Waterzuivering van de Landbouwhogeschool.

INHOUD

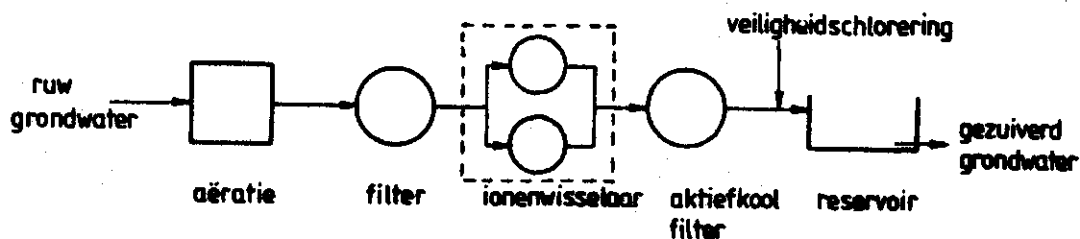
	<u>blz</u>
1. Inleiding	1
2. Opzet van het bedrijf	2
2.1. Type ionenwisselaar	2
2.1. Regeneratie van de wisselaar	2
3. Uitgangspunten kostenberekening	4
4. Kosten	5
4.1. De vaste kosten	5
4.2. De variabele kosten	5
5. Resultaten en conclusies	7

1. INLEIDING

Voor de kostenberekening van nitraatverwijdering uit grondwater d.m.v. ionenwisseling is gebruik gemaakt van een EPA (Environmental Protection Agency)-studie, waarin zowel de vaste kosten als de variabele kosten van nitraatverwijdering door een conventionele sterk basische anionenwisselaar zijn bepaald. Doordat veel kostenposten in dit EPA-rapport uitgedrukt zijn in "natuurlijke eenheden" (energie in kWh/j; bediening in uren/j) is een omrekening naar de Nederlandse situatie zeer goed mogelijk.

In het EPA-rapport worden de regeneratiekosten niet vermeld. Wel worden cijfers gegeven voor de benodigde hoeveelheid regeneratiezout bij volledige regeneratie van de ionenwisselaars in verschillende situaties. Aan de hand van deze cijfers worden in dit rapport de kosten vermeld, exclusief kosten regeneratiezout en inclusief kosten regeneratiezout.

De kosten, zoals in dit rapport berekend, hebben uitsluitend betrekking op de nitraateliminatie. Indien dus afb. 1 als voorbeeld wordt genomen voor een mogelijke opbouw van een grondwaterproduktiebedrijf, waar nitraateliminatie wordt uitgevoerd door ionenwisseling (zie tevens "Technische mogelijkheden voor nitraatverwijdering uit grondwater" hfdst. 2.4.), dan hebben de kosten alleen betrekking op het omstippelde deel en niet op het gehele grondwaterproduktiebedrijf.



Afb. 1 - Voorbeeld grondwaterproduktiebedrijf met nitraateliminatie d.m.v. ionenwisseling

2. OPZET VAN HET BEDRIJF

2.1. Type ionenwisselaar

De ionenwisseling wordt uitgevoerd volgens het vast-bed principe, waarbij twee kolommen parallel worden opgesteld. Voor grotere bedrijven wordt uitgegaan van drie of vier parallel geplaatste kolommen.

Er wordt gebruik gemaakt van een conventionele, sterk basische anionenwisselaar. Aangezien de selectiviteit van dit type ionenwisselaar groter is voor sulfaat dan voor nitraat, wordt de capaciteit van de wisselaar voor nitraat beïnvloed door het nitraatgehalte en het sulfaatgehalte van het ruwe grondwater. In tabel 1 is de capaciteit voor nitraat weergegeven als functie van het nitraat- en sulfaatgehalte van het ruwe grondwater.

Tabel 1. Uitwisselingscapaciteit voor nitraat als functie van het nitraat- en sulfaatgehalte van het ruwe grondwater (in meq/l)

Sulfaatconcentratie (mg SO_4^{2-}/l)	Nitraatconcentratie (mg NO_3^-/l)		
	90	225	450
50	400	505	551
100	308	414	505
200	230	335	446
400	156	253	345

2.2. Regeneratie van de ionenwisselaar

De regeneratie van de ionenwisselaar bestaat uit opwaarts terugspoelen van de wisselaar ($4,9-7,3 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$), gevolgd door neerwaartse regeneratie m.b.v. een 10-12% NaCl-oplossing (0,07 BV/min). Na de regeneratie wordt de wisselaar gespoeld (0,27 BV/min). Duur van de terugspoelfase, regeneratiefase en spoelfase worden automatisch geregeld. Aangenomen is dat hiervoor ruw water wordt gebruikt, dat onder voldoende druk wordt geleverd, zodat geen extra pompen gebruikt hoeven te worden.

Bij kleine installaties is verondersteld dat de regeneratie oplossing met de hand wordt bereid. Bij grotere installaties wordt een ondergrondse tank gebruikt voor opslag van de regeneratie oplossing.

In tabel 2 is de ontwerp-opzet voor verschillende bedrijfsgrootten weergegeven.

Tabel 2. Ontwerp-opzet van een installatie voor nitraatverwijdering uit grondwater d.m.v. ionenwisseling

debiet (m ³ /d)	nitraat- concentratie (mg NO ₃ ⁻ /l)	sulfaat- concentratie (mg SO ₄ ²⁻ /l)	aantal kolommen	diameter (m)	volume (m ³)	bedrijfs- gebouw (m ³)	opslag regeneratie oplossing (m ³)
15,1	90-450	50-400	2	0,30	0,06	20,4	-
37,9	90	50-400	2	0,30	0,06	20,4	-
	225	50-400	2	0,41	0,11	25,6	-
	450	50-400	2	0,51	0,14	28,4	-
151	90	50-400	2	0,60	0,24	26,9	-
	225	50-400	2	0,76	0,43	39,7	-
	450	50-400	2	0,91	0,57	39,7	106
379	90	50-400	2	1,07	0,76	42,4	106
	225	50-400	2	1,22	1,13	61,0	106
	450	50-400	2	1,37	1,42	64,6	106
1510	90	50-400	2	1,83	2,66	88,3	106
	225	50-400	2	2,29	3,96	108,4	106
	450	50-400	2	2,74	5,94	142,4	152
3790	90	50-400	2	2,74	5,94	142,4	152
	225	50-200	2	3,05	7,36	162,8	152
	225	400	3	2,74	5,94	196,7	34
	450	50-100	3	2,74	5,94	196,7	34
	450	200	3	3,05	7,36	223,7	41
	450	400	4	3,05	7,36	264,6	50

3. UITGANGSPUNTEN KOSTENBEREKENING

- a. Door middel van ionenwisseling kan het nitraatgehalte tot vrijwel nul worden teruggebracht. Aangezien de maximaal toelaatbare concentratie volgens de EG-richtlijn $50 \text{ mg NO}_3^-/\text{l}$ is, hoeft niet het gehele debiet te worden behandeld, maar slechts een gedeelte hiervan. Daarna kunnen de behandelde en onbehandelde deelstroom worden gemengd.

De kosten zijn echter weergegeven in ct/m^3 t.o.v. de totale waterproduktie van het grondwaterbedrijf. Uitgegaan is van een jaarproduktie die gelijk is aan $365 \times 0,6 = 219$ maal de maximale dagproduktie. De maximale dagproduktie loopt uiteen van 500 tot $3800 \text{ m}^3/\text{d}$.

- b. De kosten zijn berekend voor nitraatgehaltenes van het grondwater uiteenlopend van 90 tot $450 \text{ mg NO}_3^-/\text{l}$.
- c. De nitraatconcentratie in het grondwater, dat het bedrijf als drinkwater verlaat, moet voldoen aan de EG-richtlijn betreffende de kwaliteit van voor menselijke consumptie bestemd water. Dit is $50 \text{ mg NO}_3^-/\text{l}$ als maximaal toelaatbare concentratie (M.T.C.) en $25 \text{ mg NO}_3^-/\text{l}$ als richtniveau (R.N.).
- d. Het sulfaatgehalte van het grondwater heeft een belangrijke invloed op de kosten. Ten eerste wordt de capaciteit voor nitraat van conventionele, sterk basische anionenwisselaars beïnvloed door het sulfaatgehalte van het grondwater: deze neemt af naarmate het sulfaatgehalte hoger is. Ten tweede is de zoutbehoefte voor regeneratie in een bepaalde situatie (d.w.z. gegeven nitraatgehaltenes van het grondwater en te distribueren drinkwater en een gegeven waterproduktie) hoger, naarmate het sulfaatgehalte van het grondwater hoger is.

Beide aspecten veroorzaken een kostenstijging bij een toename van het sulfaatgehalte van het grondwater. De berekeningen zijn uitgevoerd voor sulfaatgehaltenes van 50 en $100 \text{ mg SO}_4^{2-}/\text{l}$.

4. KOSTEN

In de berekeningen zijn de totale kosten bepaald, dit zijn de som van de vaste kosten en variabele kosten.

4.1. D e v a s t e k o s t e n

In de vaste kosten zijn opgenomen:

1. grondwerken en bouwrijp maken terrein
2. technische installaties
3. beton
4. arbeid
5. leidingwerken
6. elektrische installaties
7. bedrijfsgebouw
8. onvolledigheid en bijkomende uitvoeringskosten (15% van 1 t/m 7)
9. directiekosten, risico en winst (20% van 1 t/m 8)

In de vaste kosten zijn de posten "bouwrente" en "kosten van de grond" niet opgenomen.

Er is uitgegaan van een afschrijvingstermijn van 20 jaar en een rentestand van 9% (rentestand van onderhandse leningen aan nutsbedrijven). Dit resulteert in een annuïtair percentage van 10,95%.

4.2. D e v a r i a b e l e k o s t e n

In de variabele kosten zijn opgenomen:

1. energie. Het proces zelf vraagt geen energie omdat aangenomen is dat het water onder voldoende druk wordt geleverd en het drukverlies over de ionenwisselaar zeer gering is (kleiner dan 35 k Pa). De energiebehoefte voor verwarming en verlichting van het bedrijfsgebouw is geschat op 750 kWh/(m².j). De kWh-prijs is gesteld op f 0,30/kWh.
2. onderhoud. Hierin is opgenomen de vervanging van verschillende onderdelen en periodieke aanvulling van de ionenwisselaar. Verlies van de wisselaar is geschat op 10% per jaar.
3. bediening. In de berekeningen is uitgegaan van een arbeidsloon van f 35,00/uur.

4. kosten regeneratiezout bij volledige regeneratie. De benodigde hoeveelheid regeneratiezout wordt bepaald door

- het nitraat- en sulfaatgehalte van het grondwater
- het vereiste nitraatgehalte van het drinkwater
- de totale waterproduktie

Bij een gegeven nitraat- en sulfaatgehalte van het grondwater en een gegeven nitraatgehalte van het te distribueren drinkwater neemt de zoutbehoefte voor regeneratie lineair toe met de totale waterproduktie. Dit betekent, dat de kosten voor regeneratiezout, uitgedrukt in ct/m³, alleen bepaald worden door het nitraat- en sulfaatgehalte van het grondwater en het nitraatgehalte van het drinkwater, en niet door de totale waterproduktie.

In de berekeningen is een zoutprijs gehanteerd van f 200,00/ton NaCl.

In de variabele kosten zijn niet opgenomen de transportkosten voor aanvoer van het zout en de kosten, verbonden met afvoer en verwerking van de brijn. Deze kosten worden namelijk sterk bepaald door lokale omstandigheden zoals afstand tussen zoutleveranciers en grondwaterproduktiebedrijf, en de bereikbaarheid van het grondwaterproduktiebedrijf.

5. RESULTATEN EN CONCLUSIES

De kosten van nitraatverwijdering uit grondwater d.m.v. ionenwisseling zijn weergegeven in afb. 2 t/m 9. Afb. 2 t/m 5 hebben betrekking op een sulfaatgehalte van 50 mg $\text{SO}_4^{2-}/\text{l}$, afb. 6 t/m 9 op een sulfaatgehalte van 100 mg $\text{SO}_4^{2-}/\text{l}$. Afhankelijk van de bedrijfsgrootte, het nitraatgehalte van het grondwater en het vereiste nitraatgehalte van het drinkwater lopen de kosten, inclusief kosten regeneratiezout, globaal uiteen van 25 ct/m³ tot 180 ct/m³ voor een sulfaatgehalte van 50 mg $\text{SO}_4^{2-}/\text{l}$ en van 30 ct/m³ tot 200 ct/m³ voor een sulfaatgehalte van 100 mg $\text{SO}_4^{2-}/\text{l}$.

Duidelijk blijkt, dat de kosten (in ct/m³) sterk dalen bij toenemende bedrijfsgrootte. Een stijgend nitraatgehalte van het grondwater blijkt de kosten vooral te beïnvloeden via de kosten voor regeneratiezout (afb. 2, 3, 6 en 7). Ruwweg kan gezegd worden, dat een stijging van het nitraatgehalte van het grondwater van 100 mg NO_3^-/l naar 400 mg NO_3^-/l een verdubbeling tot verviervoudiging van de kosten, inclusief kosten regeneratiezout, veroorzaakt, afhankelijk van de bedrijfsgrootte, het sulfaatgehalte en het vereiste nitraatgehalte van het drinkwater.

Een daling van het vereiste nitraatgehalte van het drinkwater van 50 mg NO_3^-/l (M.T.C.) naar 25 mg NO_3^-/l (R.N.) geeft een kostenverhoging, die voor het grootste deel veroorzaakt wordt door een hogere zoutbehoefte voor regeneratie, en dus een hogere post "kosten regeneratiezout" (vergelijk afb. 4 met 5 en afb. 8 met 9).

Bij gelijkblijvend nitraatgehalte van grondwater en drinkwater heeft een hoger sulfaatgehalte een kostenstijging tot gevolg, die veroorzaakt wordt door twee factoren:

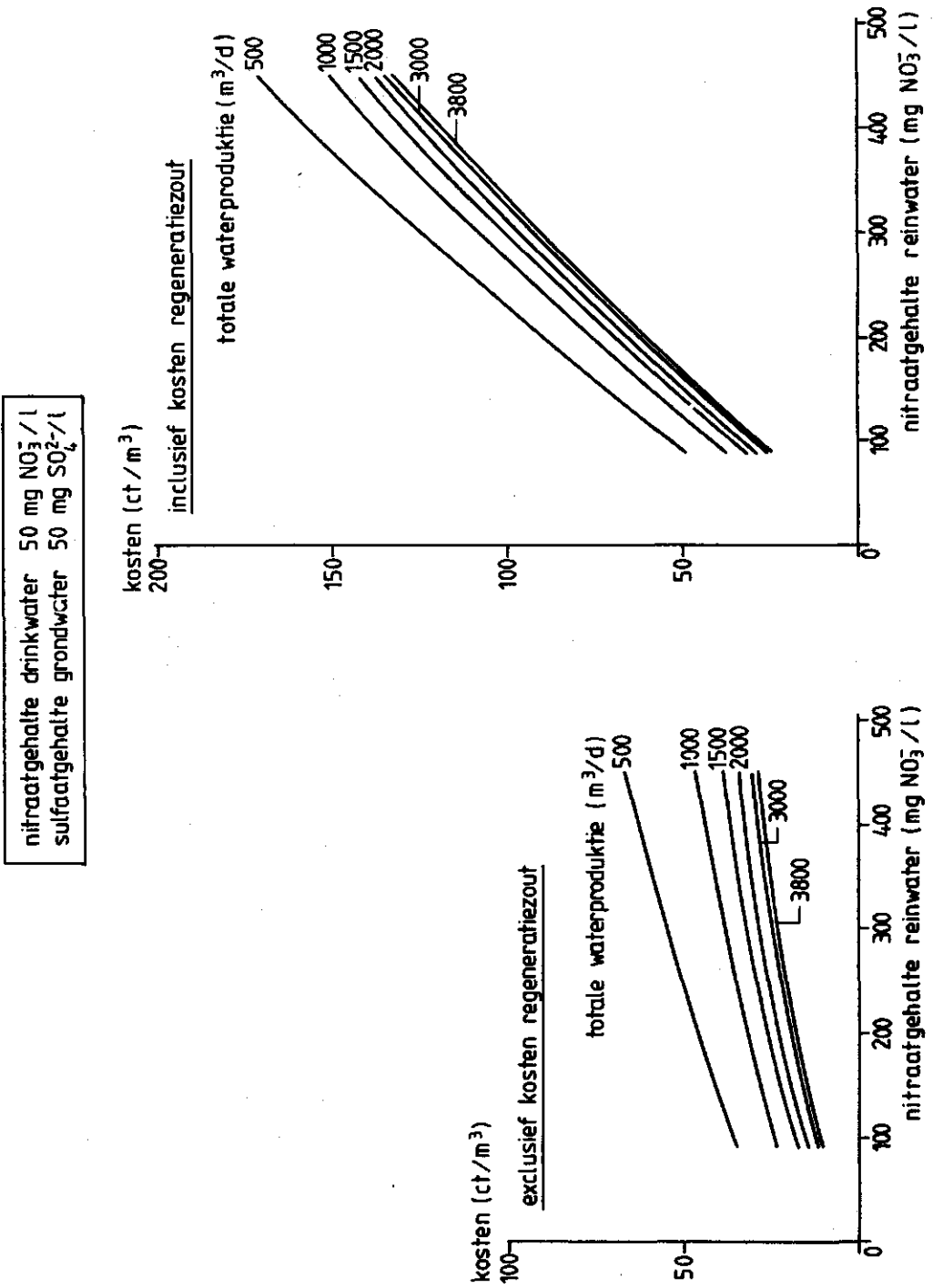
1. er is meer bediening vereist omdat de ionenwisselaar frequenter moet worden geregenereerd.
2. het zoutgebruik is hoger. De invloed van dit hogere zoutgebruik op de kosten voor regeneratiezout is weergegeven in tabel 3a en 3b.

Tabel 3a. Invloed sulfaatgehalte op "kosten regeneratiezout" bij een nitraatgehalte van het drinkwater van 50 mg NO₃⁻/l

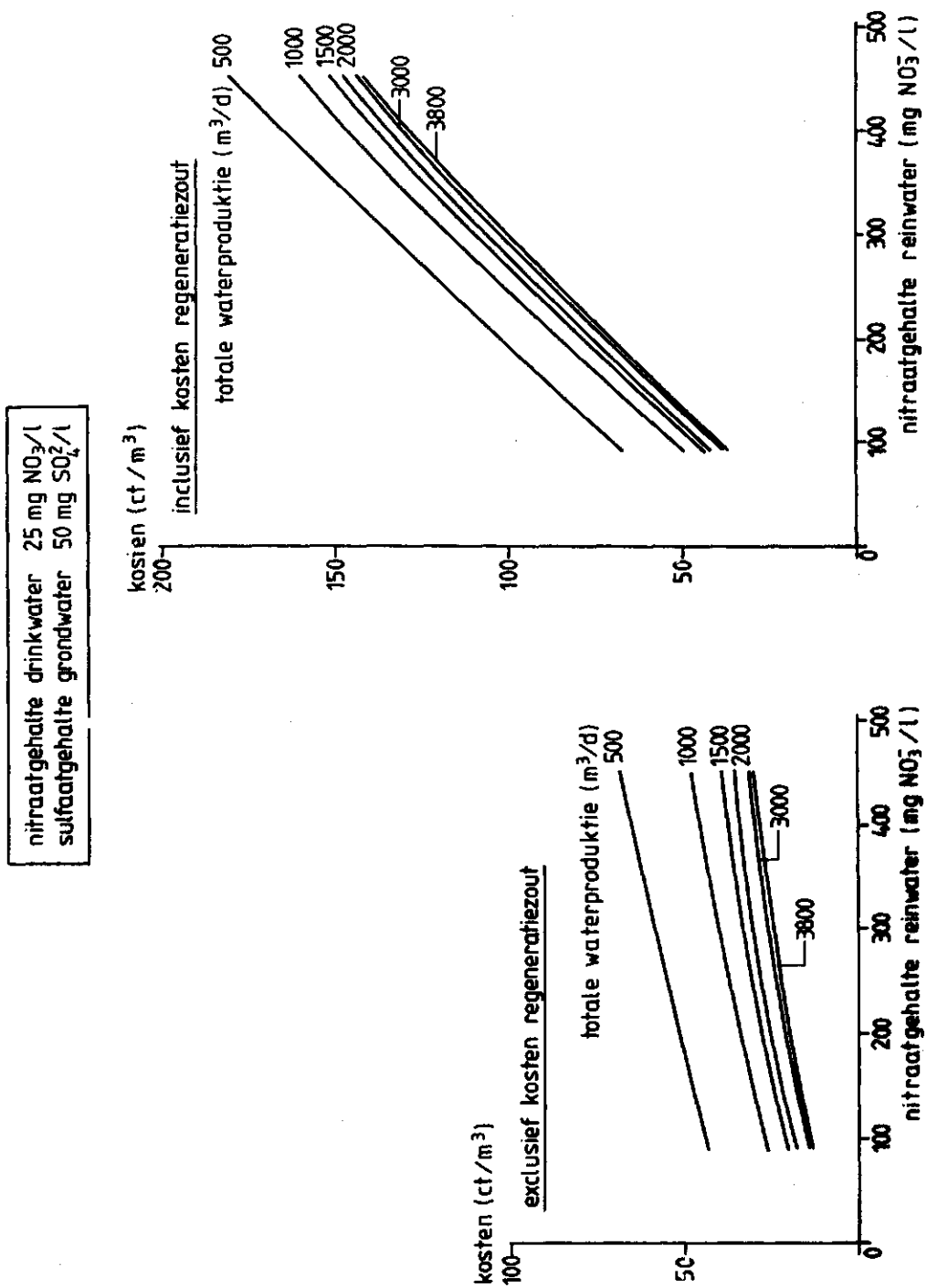
nitraatgehalte grondwater (mg NO ₃ ⁻ /l)	kosten regeneratiezout (ct/m ³)	
	sulfaatgehalte 50 mg SO ₄ ²⁻ /l	sulfaatgehalte 100 mg SO ₄ ²⁻ /l
90	14	19
225	50	60
450	104	113

Tabel 3b. Invloed sulfaatgehalte op "kosten regeneratiezout" bij een nitraatgehalte van het drinkwater van 25 mg NO₃⁻/l

nitraatgehalte grondwater (mg NO ₃ ⁻ /l)	kosten regeneratiezout (ct/m ³)	
	sulfaatgehalte 50 mg SO ₄ ²⁻ /l	sulfaatgehalte 100 mg SO ₄ ²⁻ /l
90	23	30
225	57	69
450	110	120

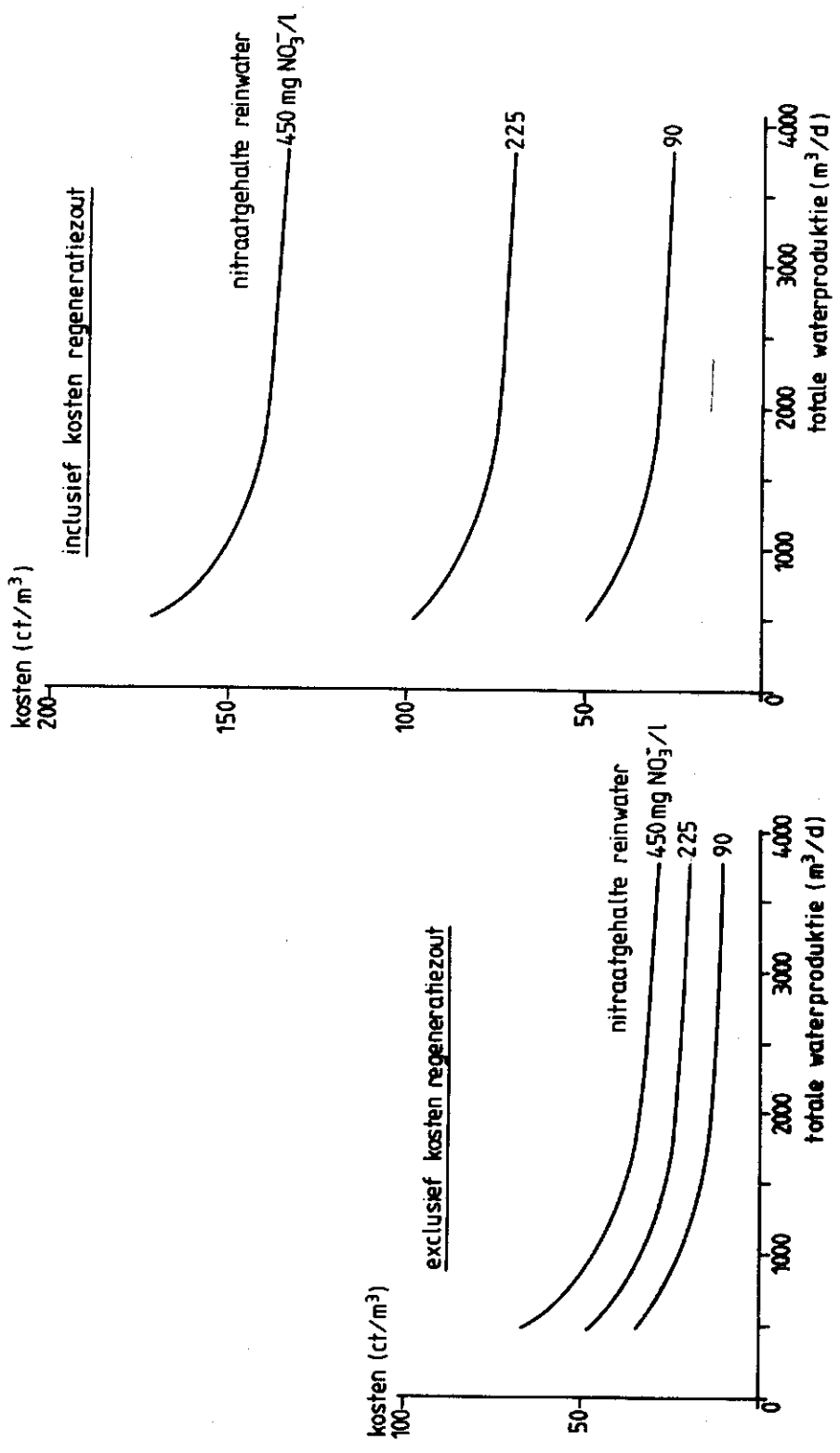


Afb. 2 - Kosten nitraatverwijdering uit grondwater d.m.v. ionenwisseling

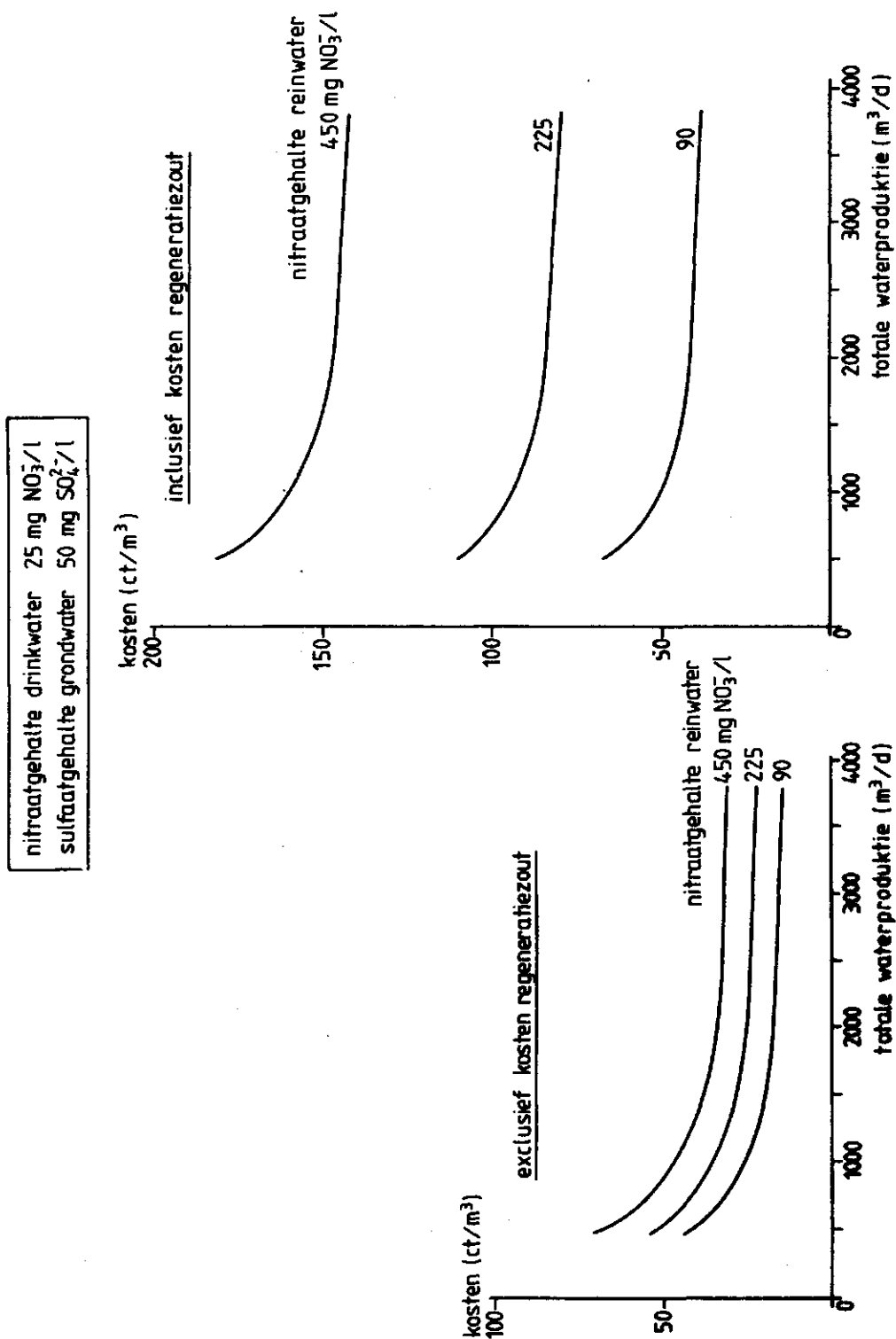


Afb. 3 - Kosten nitraatverwijdering uit grondwater d.m.v. ionenwisseling

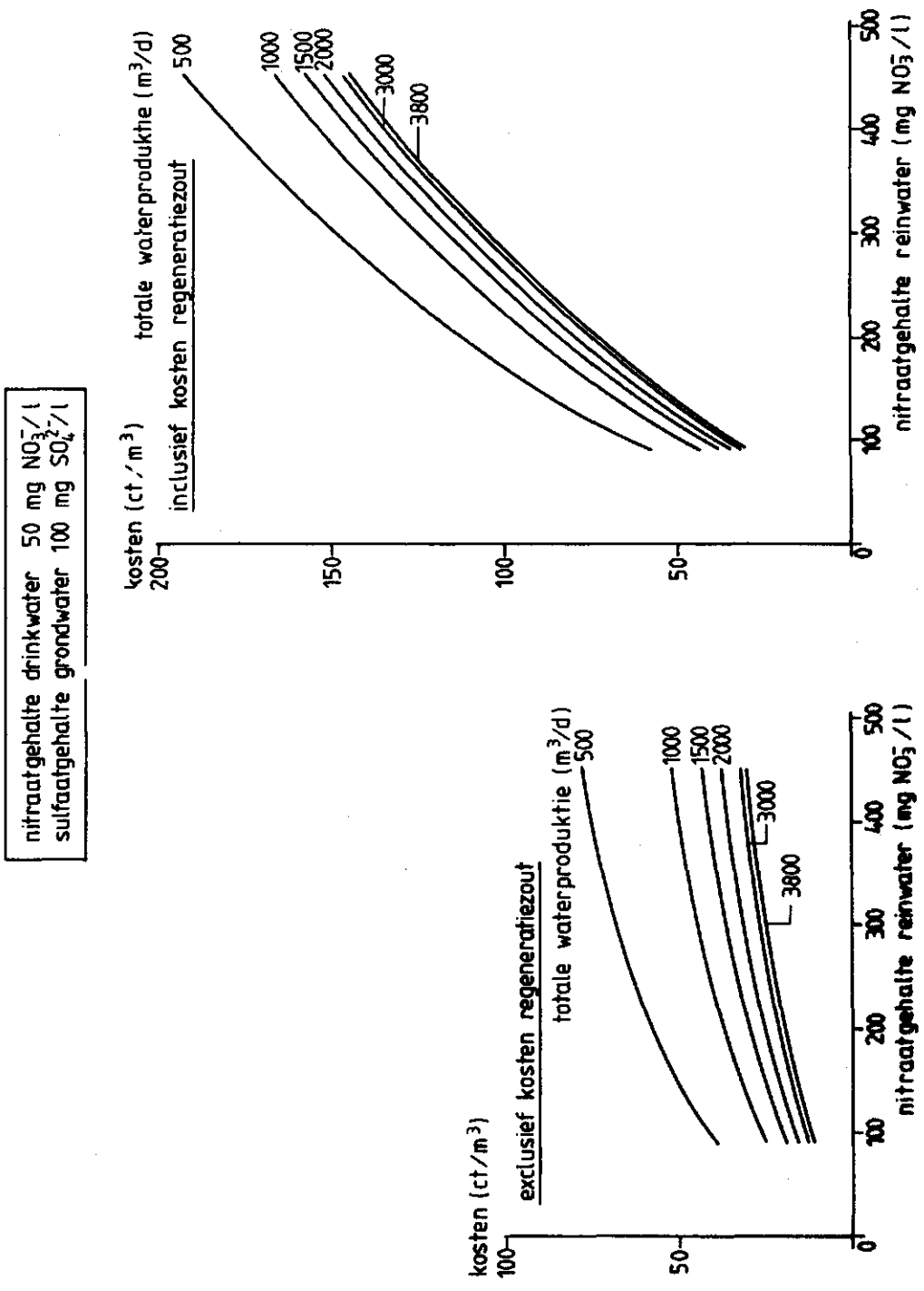
nitraatgehalte drinkwater 50 mg NO₃⁻/l
sulfaatgehalte grondwater 50 mg SO₄²⁻/l



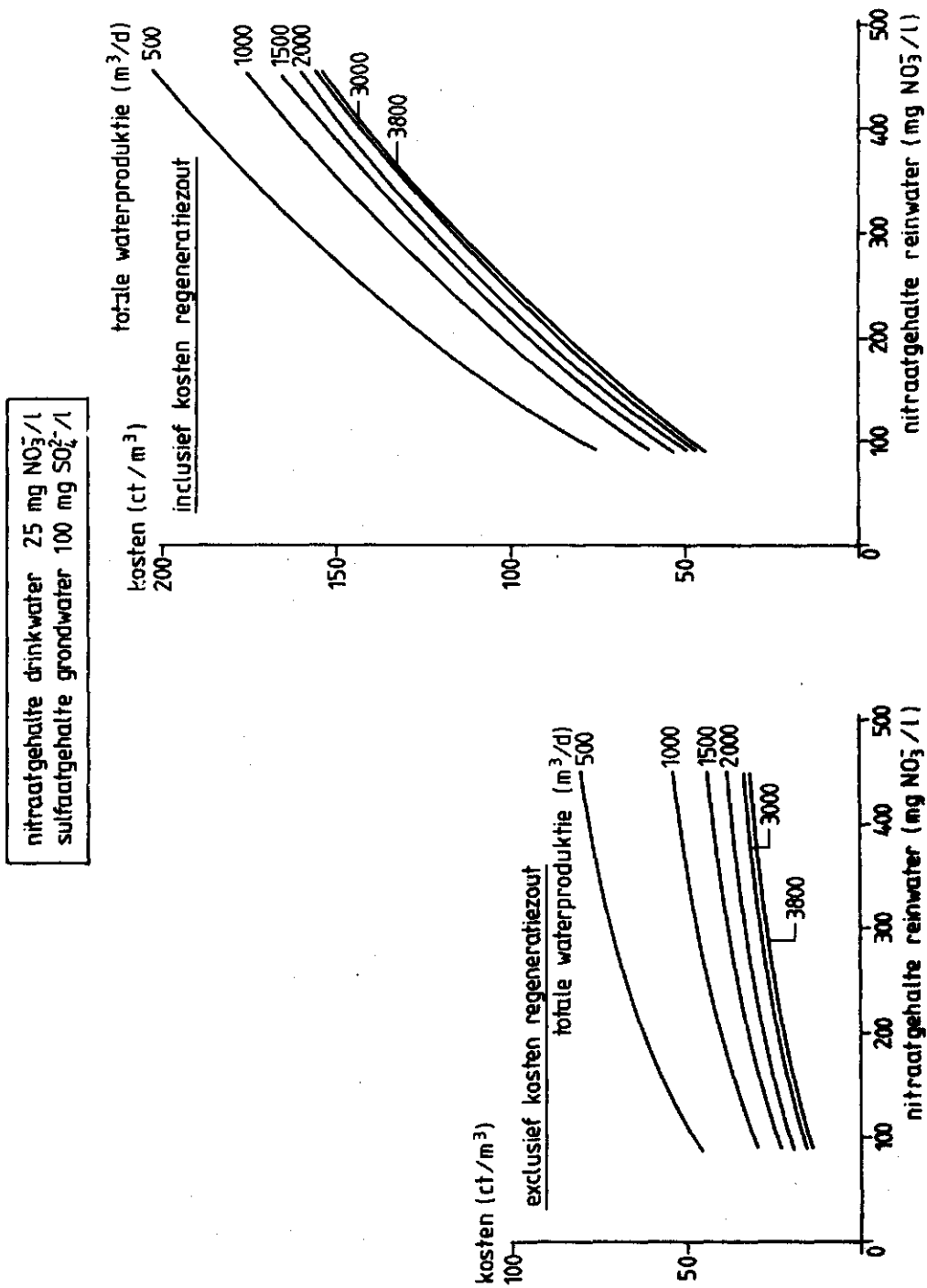
Afb. 4 - Kosten nitraatverwijdering uit grondwater d.m.v. ionenwisseling



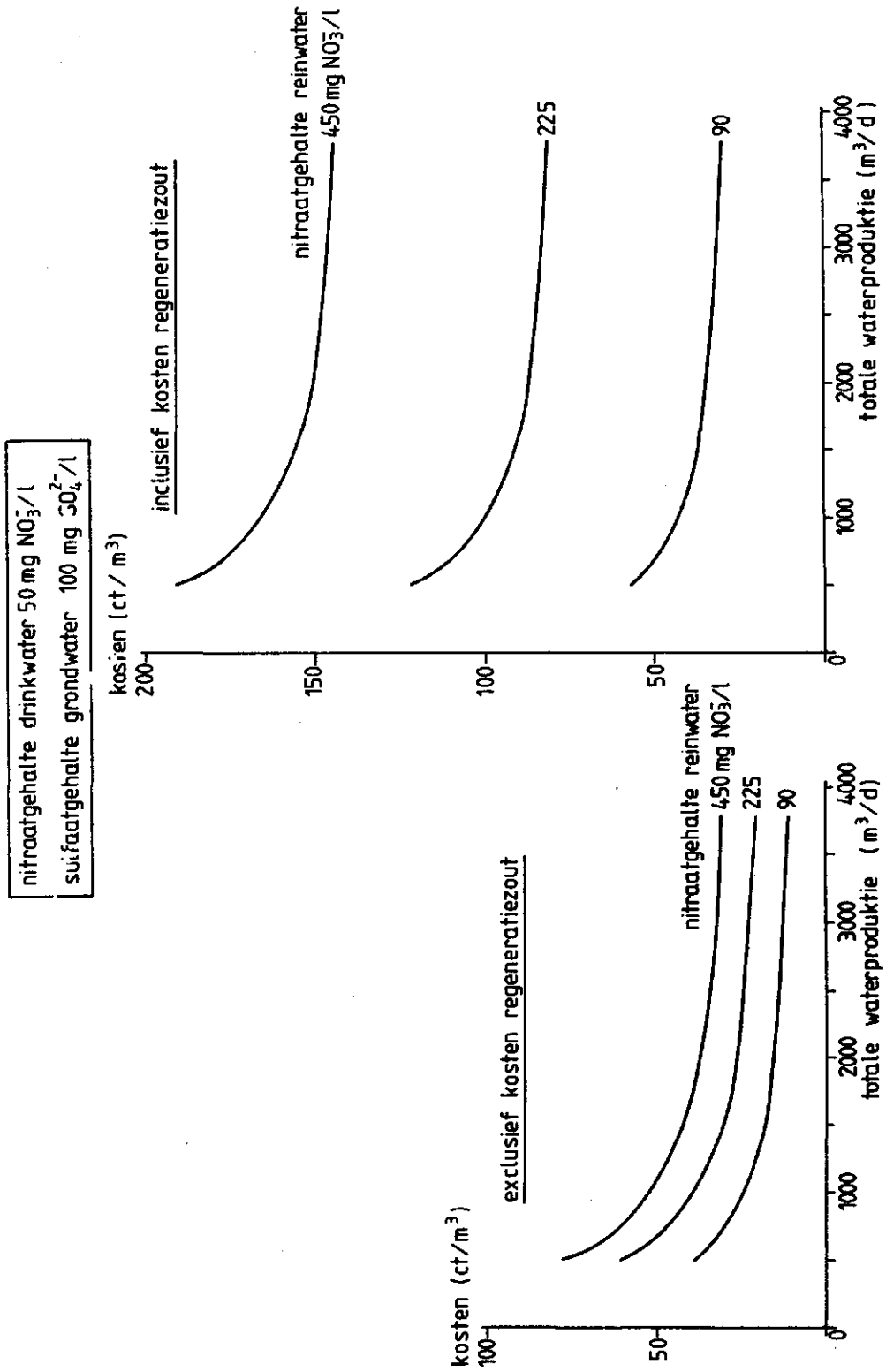
Afb. 5 - Kosten nitraatverwijdering uit grondwater d.m.v. ionenwisseling



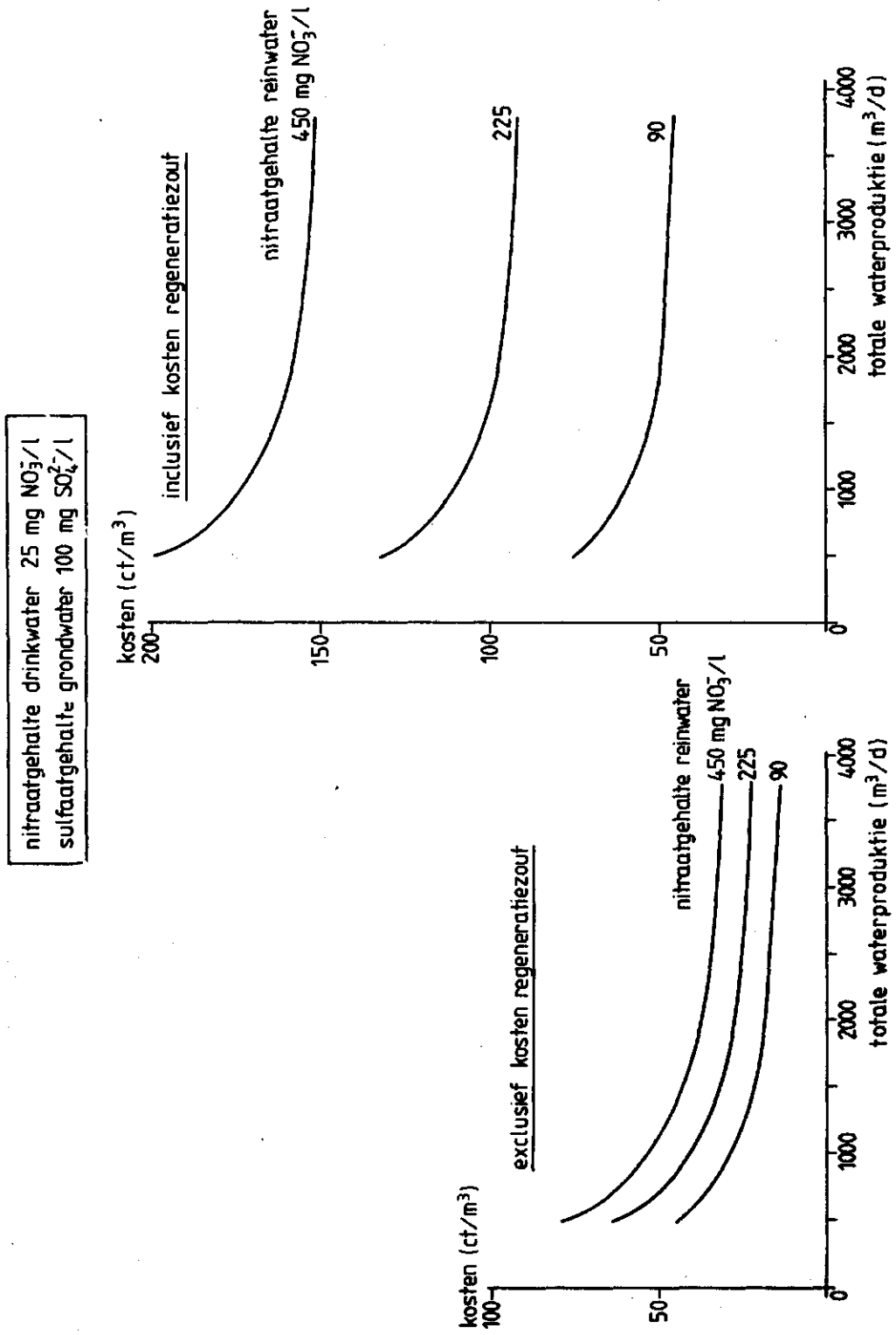
Afb. 6 - Kosten nitraatverwijdering uit grondwater d.m.v. ionenwisseling.



Afb. 7 - Kosten nitraatverwijdering uit grondwater d.m.v. ionenwisseling



Afb. 8 - Kosten nitraatverwijdering uit grondwater d.m.v. ionenwisseling



Afb. 9 - Kosten nitraatverwijdering uit grondwater d.m.v. ionenwisseling