

Wegzijing van water uit hooggelegen vennen: een gevoeligheidsanalyse

Inleiding

In grote delen van het pleistocene zandgebied van Nederland daalt de grondwaterstand als gevolg van grondwateronttrekking door waterleiding-maatschappijen, industrieën en landbouw-bedrijven. Ook landinrichtingsprojecten hebben vaak een verlaging van de grondwaterstand tot gevolg doordat de afwatering verbeterd wordt. De grondwaterstand daalt meestal niet alleen in het landbouwgebied, maar ook in aan-

grond zijn afkomstig van een onderzoek in de omgeving van Sellingen [Dekker et al., 1986].

Methode

Metingen

De wegzijing uit een ven is afhankelijk van de volgende factoren:

- de waterdiepte in het ven,
- de dikte van de venbodem,
- de doorlatendheid van de venbodem,
- de diepte van de grondwaterstand



M. H. BANNINK
Grontmij NV
De Bilt



L. W. DEKKER
Staring Centrum
Wageningen



J. M. H. HENDRICKX
International Institute of
Land Reclamation and
Improvement (ILRI)
Wageningen

H. C. VAN OMMEN
Grontmij NV
De Bilt

grenzende natuurgebieden. Soms kunnen kunstwerken of hydrologische bufferzones de grondwaterstandsverlaging in het natuurgebied beperken.

In een aantal relatief hooggelegen natuurgebieden liggen vennen, die hun bestaan danken aan een slecht doorlatende venbodem. Onder deze venbodem ligt een onverzadigd pakket dat over het algemeen een veel grotere doorlatendheid heeft dan de venbodem. Deze vennen worden gevoerd door neerslag: zowel direct als indirect door afstroming over het landoppervlak. Als de grondwaterstand onder deze vennen verlaagd wordt, kan de wegzijing van water uit het ven toenemen. Het ven kan dan tijdelijk of permanent droogvallen, waardoor de leefomstandigheden van de vegetatie in en langs het ven drastisch kunnen veranderen. Het natuurbeschermingsbeleid voor dergelijke vennen is er over het algemeen op gericht de bestaande situatie zoveel mogelijk te handhaven. Voor een goede afweging van de belangen moet daarom bekend zijn in hoeverre een verlaging van de grondwaterstand invloed heeft op de waterstand in het ven. Als deze relatie bekend is, kan worden geschat wat het uiteindelijke effect van grondwaterstandsverlaging is op het ven als biotoop.

In dit artikel laten we zien hoe de wegzijing uit een ven kan worden berekend, welke factoren daarvoor bepalend zijn, en wat de invloed van grondwaterstandsverlaging is op de wegzijing uit een ven. De basisgegevens over de fysische eigenschappen van de venbodem en de onder-

grond het ven,

- de doorlatendheid van de ondergrond. Als we een gefundeerde uitspraak over de grootte van de wegzijing willen doen, dan moeten we deze parameters zo nauwkeurig mogelijk vaststellen. De waterdiepte in het ven kan worden gemeten met een peilstok. De grondwaterstand onder het ven kan worden afgeleid uit grondwaterstandsmetingen rondom het ven. De doorlatendheid van de ondergrond kan worden gemeten aan ongestoorde monsters van als identiek te beschouwen horizonten uit de directe omgeving van het ven.

De eigenschappen van de venbodem zijn moeilijk vast te stellen, omdat deze laag moeilijk kan worden bemonsterd door zijn ligging onder de waterspiegel en door het risico van verstoring. Voor onze studie gebruikten we metingen aan venbodems en ondergronden van een dichtgeschoven

Samenvatting

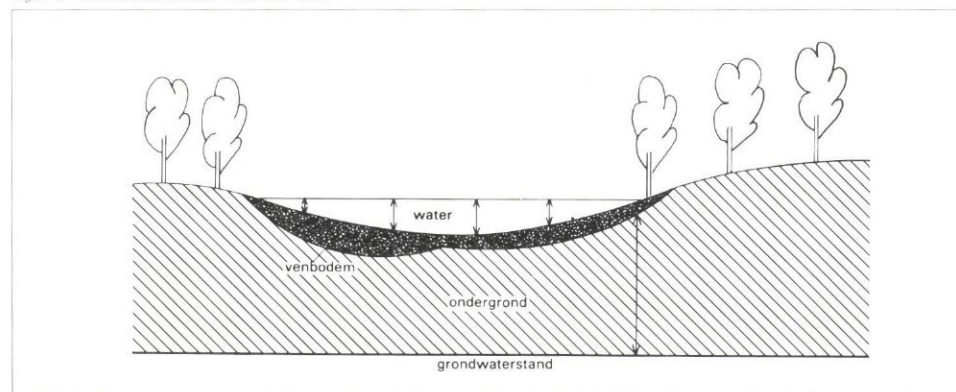
Als de grondwaterstand onder een hooggelegen ven wordt verlaagd, kan daardoor de wegzijing van water uit het ven toenemen. Dit betekent dat de vendiepte zal afnemen. Om de gevolgen van grondwaterstandsverlaging voor het ven als biotoop te kunnen beoordelen moet men de waterstandsval in het ven kunnen voorspellen. De toename van de wegzijing is afhankelijk van: de grondwaterstandsverlaging, de dikte en de doorlatendheid van de venbodem, de vendiepte, en de doorlatendheid van de ondergrond. Uit onze studie blijkt dat vooral de dikte en de doorlatendheid van de venbodem de mate van wegzijing bepalen. Daarom moeten deze parameters nauwkeurig worden vastgesteld bij hydrologische studies naar de effecten van grondwaterstandsverlaging op de wegzijing uit vennen. Het effect van verlaging van de grondwaterstand is afhankelijk van de begingrondwaterstand: bij een diepe grondwaterstand is het effect kleiner dan bij een minder diepe grondwaterstand.

ven nabij Sellingen [Dekker et al., 1986]. De opbouw van de venbodem en de ondergrond (afb. 1) werd bepaald met een Van der Staay-boor.

Berekeningen

De wegzijing uit een ven is een dynamisch proces naar plaats en tijd. De profielopbouw van de venbodem en van de ondergrond varieert van plaats tot plaats; de waterstand in het ven en de grondwaterstand onder het ven variëren in de tijd, afhankelijk van neerslag, verdamping en eventuele laterale toestrooming. Voor de berekeningen hebben

Afb. 1 - Dwarsdoorsnede van een ven.



we dit proces vereenvoudigd tot een eendimensionaal stationair proces. Om de wegzijging bij een stationaire situatie te berekenen gebruikten we een oplossing, afgeleid van de wet van Darcy:

$$v = -k(h) \left(\frac{dh}{dz} - 1 \right) \tag{1}$$

Verder gebruikten we een exponentiële functie om de relatie tussen de doorlatendheid (*k*) en de drukhoogte (*h*) te beschrijven [bijvoorbeeld Richter, 1980]:

$$k(h) = k_s e^{\alpha h} \tag{2}$$

waarin:
v = stationaire flux naar de ondergrond (cm d⁻¹)

h = drukhoogte (cm)

z = diepte onder venbodem (cm)

k(*h*) = onverzadigde doorlatendheid (cm d⁻¹)

k_s = verzadigde doorlatendheid (cm d⁻¹)

α = helling tussen ln(*k*(*h*)) en *h* (cm⁻¹)

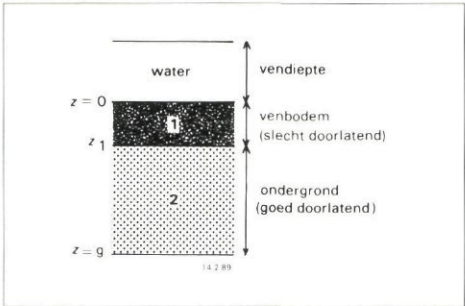
Deze relatie is geldig voor het natte traject van de *k*(*h*)-relatie. Bresler (1978) en Rijtema (1969) geven voor een aantal grondsoorten een indicatie voor welk drukhoogte-traject vergelijking 2 geldig is. Uit de berekeningen van Dekker et al. (1986) blijkt dat drukhoogten kleiner dan - 100 cm nauwelijks te verwachten zijn en binnen bovengenoemd traject blijven. We nemen daarom aan dat vergelijking 2 voor deze toepassing voldoende nauwkeurig is.

Het profiel is geschematiseerd tot twee lagen (afb. 2): een slecht doorlatende venbodem en een goed doorlatende ondergrond. Voor beide lagen werden metingen van de *k*(*h*)-relatie gebruikt uit het onderzoek van Dekker et al. (1986) en werd door deze metingen de exponentiële functie 2 gefit (zie voor de gemiddelde *k*(*h*)-curves Hendrickx et al., 1988). Voor een ven met een diepte *D* wordt vergelijking 1 geïntegreerd vanaf de venbodem tot diepte *z_{h=0}*. Dit is de diepte in de venbodem waar de drukhoogte gelijk is aan nul.

$$z_{h=0} = \frac{D}{\frac{v}{k_{sl}} - 1} \tag{3}$$

waarin *k_{sl}* = verzadigde doorlatendheid van de venbodem (cm d⁻¹).

Als we vergelijking 1 integreren van *z_{h=0}* tot de diepte waarop de goed doorlatende ondergrond begint, vinden we de drukhoogte *h_b* op de grens van venbodem en ondergrond:



Afb. 2 - Geschematiseerde profielopbouw voor de berekeningen.

$$h_b = \frac{1}{\alpha_1} \ln \left| e^{\alpha_1 (z_1 - z_h = 0)} \cdot \left| 1 - \frac{v}{k_{sl}} \right| + \frac{v}{k_{sl}} \right| \tag{4}$$

Waarin:
α₁ = *α*-waarde voor de venbodem (cm⁻¹),
z₁ = dikte van de venbodem (cm).

Integratie van vergelijking 1 van diepte *z₁* tot de grondwaterstand *z_g* geeft:

$$z_g = z_1 + \frac{1}{\alpha_2} \ln \left| \frac{\left| 1 - \frac{v}{k_{s2}} \right|}{e^{\alpha_2 h_b} - \frac{v}{k_{s2}}} \right| \tag{5}$$

Waarin:
α₂ = *α*-waarde voor de ondergrond (cm⁻¹)
k_{s2} = *k_s* voor de ondergrond (cm d⁻¹)

De berekende waarde *z_g* moet overeenstemmen met de opgegeven grondwaterstand. Dit wordt op iteratieve wijze bereikt door de flux *v* aan te passen. De waarde van de flux *v*, waarbij de berekende grondwaterstand *z_g* en de opgegeven grondwaterstand voldoende nauwkeurig met elkaar overeenstemmen, geeft de wegzijging uit het ven. De wegzijging werd berekend voor een aantal combinaties van vendiepte, dikte van de venbodem en grondwaterstands-diepte. De vendiepte varieerde van 25 tot 200 cm, de dikte van de venbodem van 5 tot 75 cm, en de diepte van de grondwaterstand onder het ven van 25 tot 300 cm. Bij de berekeningen namen we aan dat het veelal aanwezige drijvende plantenmateriaal geen invloed heeft op de stromingsweerstand. Het doorrekenen van deze eendimensionale situaties geeft geen direct antwoord op de vraag hoeveel water er in een bepaalde tijd wegzijgt uit het ven. Wel kan het effect van verschillen in profielopbouw, bodemfysische eigenschappen en hydrologische condities worden aangetoond. Dit was ook het voornaamste doel van het onderzoek. Het effect van de fysische eigenschappen van de venbodem op de wegzijging werd onderzocht door de verzadigde door-

latendheid van de venbodem, *k_{sl}*, te variëren van 1 tot 10⁻⁴ cm/d. Dit traject komt ongeveer overeen met dat van de metingen aan de venbodems bij Sellingen (tabel I). De *α*-waarde van de venbodem, *α₁*, varieerde van 10⁻¹ tot 10⁻³ cm⁻¹. Dit zijn reële waarden die ook in de literatuur worden vermeld voor slecht doorlatende lagen [bijvoorbeeld Bresler, 1978; Rijtema, 1969]. Het effect van de doorlatendheid van de ondergrond onderzochten we door *k_{s2}* te laten variëren van 1 tot 1000 cm/d. Voor zandondergronden zijn dit realistische waarden (tabel II).

We vergeleken de wegzijging met een kritieke flux. Deze flux werd bepaald door het gemiddelde jaarlijkse neerslag-overschot te delen door het aantal dagen per jaar. Voor het station Eelde met een gemiddelde jaarlijkse neerslag van 78,1 cm en een gemiddelde open-water-verdamping van 63,2 cm bedraagt de kritieke flux: (78,1-63,2)/365 = 0,041 cm/d (tabel III). Bij een wegzijging die groter is dan deze kritieke flux, is de kans groot dat de waterstand in een ven zal dalen. Deze

TABEL I – Minimale en maximale gemeten waarden voor *k_s* (cm/d) van venbodems (Dekker et al., 1986).

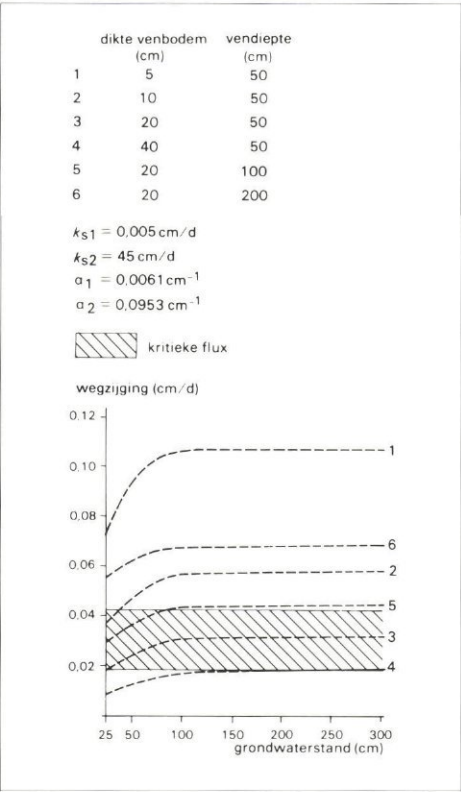
Materiaal	<i>k_s</i> (min)	<i>k_s</i> (max)
zwarte gliede	0,2	0,5
bruine, dichte, zeer kazige B	0,001	0,005
zwak lemig, zeer fijn zand met een aanzet tot waterhard	0,7	2,5
zwart, oud veenmosveen met disperse organische stof	0,3	5,2
bruine, kazige B	0,007	0,009
waterhardlaag	1,0	1,6
vette gliede	0,08	0,09
zwarte/bruine kazige B	0,006	0,010

TABEL II – Gemiddelde waarden voor *k_s* (cm/d) van zandondergronden [Wösten et al., 1987].

Materiaal	<i>k_s</i>
leemarm, zeer fijn tot matig fijn zand	99,7
zwak lemig, zeer fijn tot matig	
fijn zand	63,9
sterk lemig, zeer fijn tot matig	
fijn zand	44,6
zeer sterk lemig, zeer fijn tot matig	
fijn zand	53,1
grof zand	223,2
keileem	5,5

TABEL III – Langjarig gemiddelde van neerslag (*P* in cm/j), openwaterverdamping (*E₀* in cm/j) en neerslagoverschot (*P-E₀*) in cm/j en de kritieke flux (cm/d) voor vijf meteo-stations [KNMI, 1985].

Station	<i>P</i>	<i>E₀</i>	<i>P-E₀</i>	Kritieke flux
Eelde	78,1	63,2	14,9	0,0408
Twente	76,5	62,2	14,3	0,0392
De Bilt	79,7	64,2	15,5	0,0425
Winterswijk	77,5	65,0	12,5	0,0342
Venlo	74,5	67,8	6,7	0,0184



Afb. 3 - De wegzijging (cm/d) als functie van de diepte van de grondwaterstand (cm onder venbodem) bij een aantal combinaties van dikte van de venbodem (cm) en vendiepte (cm).

vergelijking geeft dus een zeer globale indicatie over de te verwachten verlaging van de waterstand in het ven. In werkelijkheid zijn meer en complexere factoren, zoals lokale afstroming en verdeling van neerslag en verdamping in de tijd, ook van invloed. Deze zijn hier echter buiten beschouwing gelaten.

Tabel III geeft voor een aantal meteorostations het langjarig gemiddelde van de neerslag, de open-watervedamping, het neerslagoverschot en de hieruit berekende kritieke fluxen.

Een eenvoudiger methode om de wegzijging uit een ven te bepalen is een worst-case benadering die gebruik maakt van de weerstand C (d) van de slecht doorlatende venbodem. De weerstand wordt gedefinieerd als het quotiënt van de dikte van een laag en de verzadigde doorlatendheid van de venbodem, dus:

$$C = D/k_{s1} \tag{6}$$

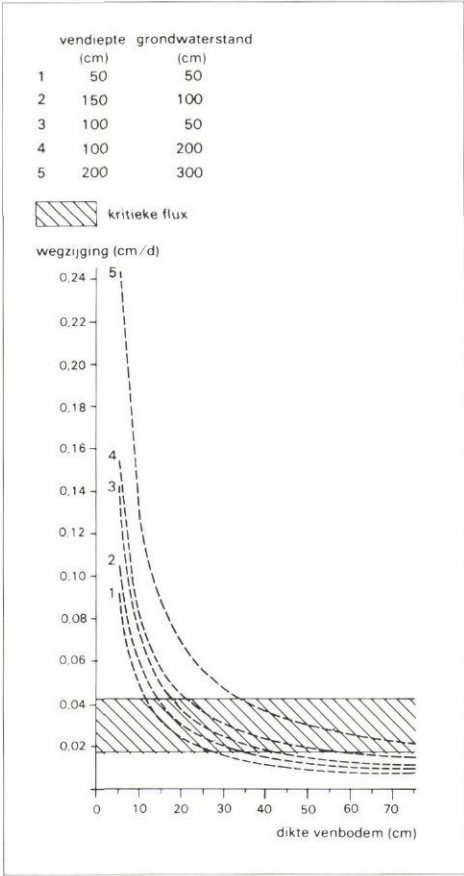
De wegzijging uit het ven kan dan worden berekend als:

$$v = Pot/C \tag{7}$$

waarin Pot het potentiaalverschil (cm) over de slecht doorlatende venbodem is.

Resultaten

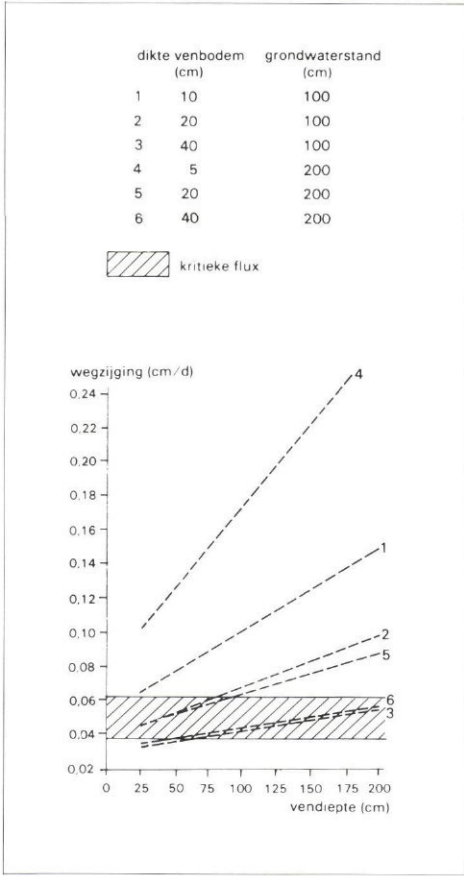
De resultaten van onze studie laten we



Afb. 4 - De wegzijging (cm/d) als functie van de dikte van de venbodem (cm) bij een aantal combinaties van vendiepte (cm) en grondwaterstand (cm onder venbodem).

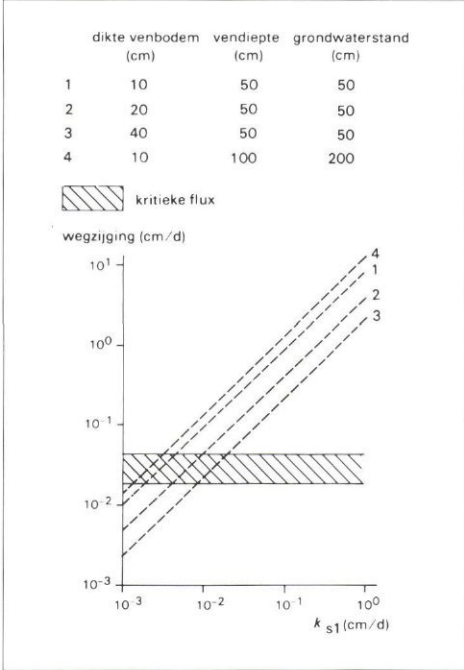
zien in de afb. 3 t/m 9. In deze afb. staat steeds de wegzijging uitgezet tegen één andere variabele bij een aantal combinaties van overige variabelen. In de afb. staat tevens het traject van kritieke fluxen weergegeven.

Afb. 3 toont het verband tussen de diepte van de grondwaterstand onder het ven en de wegzijging voor een aantal combinaties van dikte van de venbodem en vendiepte. De wegzijging neemt toe naarmate de grondwaterstand onder het ven dieper is. Bij grondwaterstanden dieper dan 100 cm beneden de venbodem neemt de wegzijging echter niet meer toe. Een verlaging van de grondwaterstand van 200 naar 300 cm beneden de venbodem heeft voor dit voorbeeld dus vrijwel geen effect op de wegzijging. Dit komt doordat bij deze grondwaterstanden de drukhoogte onder de venbodem constant blijft. Verder blijkt dat de toename van de wegzijging door verlaging van de grondwaterstand bij dunne venbodems groter is dan bij dikke. Dit blijkt ook duidelijk uit afb. 4. Bij venbodems dunner dan 30 cm heeft een kleine verandering van de dikte al een groot effect op de wegzijging. Als de



Afb. 5 - De wegzijging (cm/d) als functie van de vendiepte (cm) bij een aantal combinaties van dikte van de venbodem (cm) en grondwaterstand (cm onder venbodem).

Afb. 6 - De wegzijging (cm/d) als functie van de verzadigde doorlatendheid van de venbodem (k_{s1} in cm/d) bij een aantal combinaties van dikte van de venbodem (cm), vendiepte (cm) en grondwaterstand (cm onder venbodem).

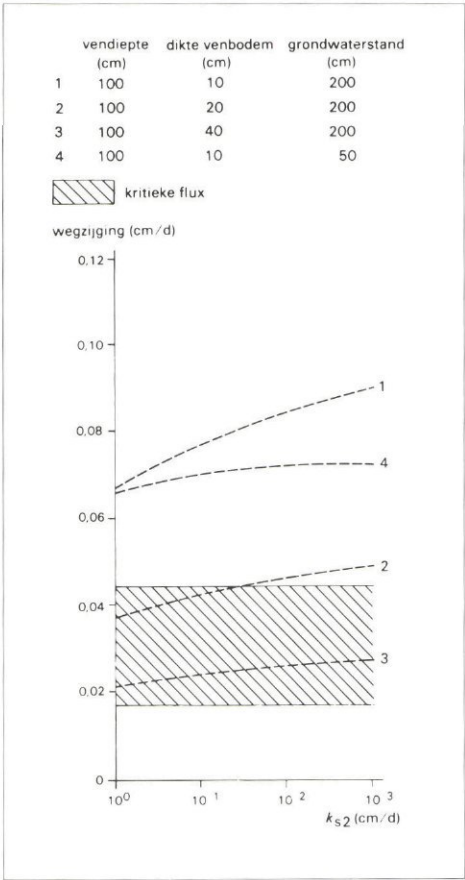
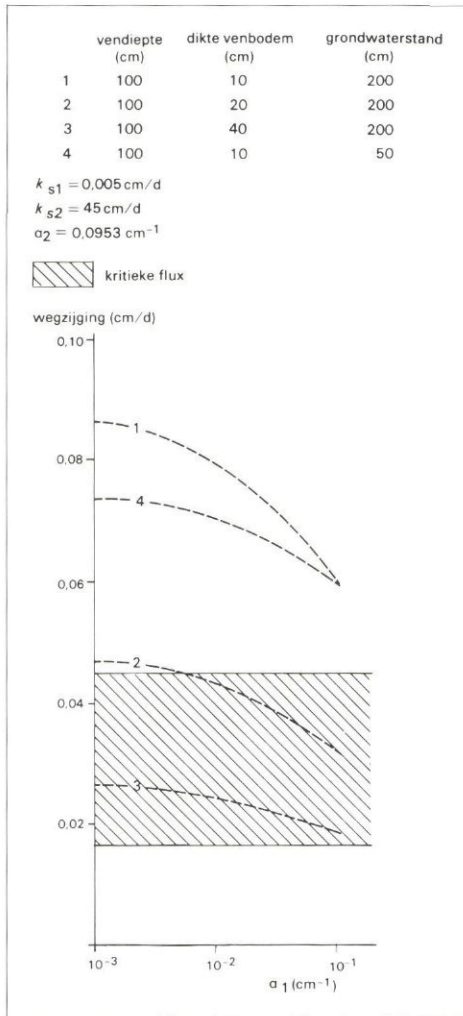


venbodem dikker is dan 50 cm, heeft de dikte nog maar weinig invloed op de wegzijging.

Afb. 5 geeft het verband tussen de vendiepte en de wegzijging. De wegzijging neemt lineair toe met de diepte van het ven. Naarmate de venbodem dunner is, heeft de diepte van het ven meer effect op de wegzijging.

Uit afb. 6 blijkt dat de verzadigde doorlatendheid van de venbodem grote invloed heeft op de wegzijging. De wegzijging neemt sterk toe bij toename van de verzadigde doorlatendheid. De toename is vrijwel onafhankelijk van de andere factoren (dikte van de venbodem, vendiepte en grondwaterstand). De wegzijging door de venbodem is altijd groter dan de verzadigde doorlatendheid van de venbodem [Takagi, 1960]. Uit de waarden voor de kritieke fluxen (tabel III) en de gemeten verzadigde doorlatendheid aan materiaal van venbodems (tabel I) blijkt

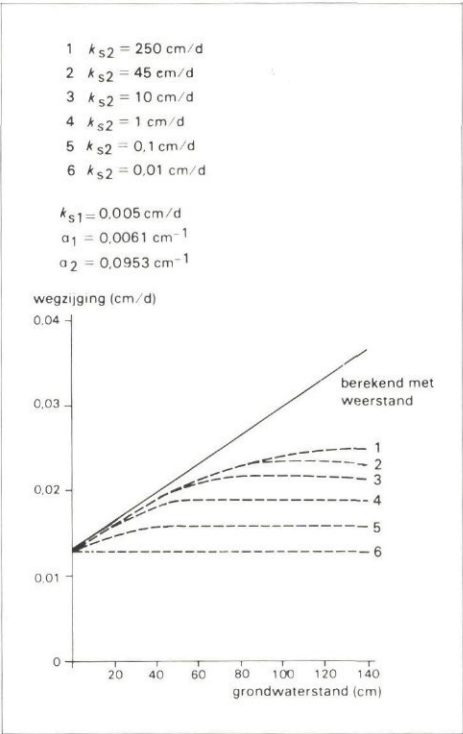
Afb. 7 - De wegzijging (cm/d) als functie van de α -waarde van de venbodem (cm⁻¹) bij een aantal combinaties van vendiepte (cm), dikte van de venbodem (cm) en grondwaterstand (cm onder venbodem).



Afb. 8 - De wegzijging (cm/d) als functie van de verzadigde doorlatendheid van de ondergrond (k_{s2} in cm/d) bij een aantal combinaties van vendiepte (cm), dikte van de venbodem (cm) en grondwaterstand (cm onder venbodem).

dat alleen kazige B-horizonten een doorlatendheid hebben die laag genoeg is om een ven in stand te houden. Het effect van de α -waarde van de venbodem staat weergegeven in afb. 7. Waarden voor α in het traject van 10^{-1} tot 10^{-3} hebben invloed op de wegzijging. Het effect van α op de wegzijging is groter naarmate de venbodem dunner is. Het effect van de verzadigde doorlatendheid van de ondergrond op de wegzijging blijkt uit afb. 8. De wegzijging neemt toe naarmate de ondergrond een grotere verzadigde doorlatendheid heeft. Ook hier is het effect op de wegzijging groter naarmate de venbodem dunner is.

Uit de resultaten blijkt dat vooral de dikte en de verzadigde doorlatendheid van de venbodem bepalend zijn voor de wegzijging van water uit het ven. Om de effecten van grondwaterstandsverlaging goed te kunnen kwantificeren moeten de dikten en de bodemfysische eigenschappen van de lagen zo nauwkeurig mogelijk worden bepaald. De diepte van het ven heeft ook een tamelijk grote invloed op de wegzijging.



Afb. 9 - De wegzijging (cm/d) als functie van de grondwaterstand (cm onder venbodem) bij een aantal waarden voor de verzadigde doorlatendheid van de ondergrond k_{s2} in cm/d en berekend met behulp van de weerstand van de venbodem.

De diepte van de grondwaterstand onder het ven is alleen van invloed bij niet al te diepe grondwaterstanden. Voor het bepalen van het effect van grondwaterstandsverlaging op de wegzijging moet daarom ook de grondwaterstand in de uitgangstoestand goed worden vastgelegd. Omdat het gemiddelde neerslagoverschot sterk plaatsgebonden is (bijvoorbeeld 15,5 cm/j voor De Bilt en 6,7 cm/j voor Venlo; KNMI, 1985), zal het effect van ingrepen in de hydrologische situatie onder een ven regionaal verschillen (bij overigens identieke eigenschappen). Om de wegzijging met de worst-case benadering te bepalen hebben we het volgende voorbeeld gebruikt:

- dikte van de venbodem 20 cm,
- verzadigde doorlatendheid van de venbodem 0,005 cm/d,
- grondwaterstand 100 cm beneden de venbodem,
- vendiepte 150 cm.

De weerstand berekend met vergelijking 6, bedraagt $20/0,005 = 4000 \text{ d}$. Invulling van bovenstaande gegevens in vergelijking 7 levert een wegzijging van $(100 + 150 + 20)/4000 = 0,0675 \text{ cm/d}$. Deze benadering mag alleen worden toegepast wanneer het verschil in doorlatendheid tussen de venbodem en de ondergrond groot is en bij ondiepe grond-

behaald kan worden bij ladingsgewijze behandeling dan bij continue behandeling. De hier uitgevoerde praktijkproeven, die moesten vallen binnen de mogelijkheden van de rwzi Glanerbrug en daardoor geen optimaal inzicht hebben gegeven in de mogelijkheden van het batchproces, hebben aangetoond dat dit ook kan gelden voor praktijkomstandigheden. Voordeel van de ladingsgewijze werkwijze is dat een nabezinkingstank wordt uitgespaard. Daartegenover staat als nadeel dat voorzieningen moeten worden getroffen om een continue en in wisselend debiet en samenstelling binnenkomende afvalwaterstroom te kunnen behandelen. Hoe het ontbreken van een nabezinkingstank en het treffen van de voorzieningen voor de inname van water doorwerken in de kosten van het ladingsgewijze zuiveringsproces en hoe deze kosten mogelijk weer worden beïnvloed door op de lozingsheffing te behalen besparingen, valt buiten het kader van dit verhaal. In de literatuur is hier echter reeds enige aandacht aan geschonken [17].

Aanbevelingen

De hier uitgevoerde experimenten, samen met literatuurgegevens, wijzen in de richting van een betere kwaliteit van effluenten van ladingsgewijze processen dan van continue processen. Vooral voor stikstof- en fosforverbindingen zijn bij goede strategie zeer hoge verwijderingspercentages haalbaar. Ter vaststelling van die strategie kan nuttig gebruik worden gemaakt van wiskundige modellen voor continue en ladingsgewijze behandeling die numeriek worden opgelost [14, 18]. De stikstofhuishouding kan in zo'n model goed worden geregeld; voor de fosforhuishouding is dit nog niet het geval.

Literatuur

- Irvine, R. L. en Richter, R. O. (1976). *Computer simulation and design of sequencing batch biological reactors*. Proc. 31ste Purdue Waste Conference, 1080-1089.
- Pallis, J. C. en Irvine, R. L. (1985). *Nitrogen removal in a low-loaded single tank sequencing batch reactor*. J. Water Pollut. Control Fed. 57, 82-86.
- Chin, K. K. en Ng, W. J. (1985). *Biooxidation and denitrification study using the sequencing batch reactors*. Adv. in Water Eng., Proc. Int. Symp., Univ. Birmingham, Jul. 15-19, (Ed. Tebbutt, T.H.Y.).
- Okada, M. en Sudo, R. (1986). *Performance of sequencing batch reactor activated sludge processes for simultaneous removal of nitrogen and BOD as applied to small community sewage treatment*. Wat. Sci. Tech. 18, 363-370.
- Irvine, R. L., Murthy, D. V. S., Arora, M. L., Copeman, J. L. en Heidman, J. A. (1987). *Analysis of full-scale SBR operation at Grundy Center, Iowa*. J. Water Pollut. Control Fed. 59, 132-138.
- Irvine, R. L., Ketchum, L. H., Arora, M. L. en Barth, F. F. (1987). *An organic loading study of full-scale sequencing batch reactors*. J. Water Pollut. Control Fed. 57, 847-853.
- Irvine, R. L. (1985). *Technology assessment report for sequencing batch reactors*. US EPA.
- Silverstein, J. A. en Schroeder, E. D. (1983). *Performance of SBR activated sludge processes with nitrification/denitrification*. J. Water Pollut. Control Fed. 55, 377-384.
- Wilderer, P. A. en Fedder, K. (1984). *SBR Verfahren zur biologischen Reinigung von Maelzereiabwasser*. Die Brauwelt 38, 1624-1631.
- Miller, G. (1979). *Single cell sequencing batch treatment of rural domestic wastewater - utilization of soluble and particulate fractions of sewage*. MS Thesis, Univ. of Notre Dame, Ind., USA.
- Alleman, J. E. en Irvine, R. L. (1980). *Storage-induced denitrification using sequencing batch reactor operation*. Water Res. 14, 1483-1488.
- Ketchum, L. H., Irvine R. L., Breyfolge R. E. en Manning, J. F., Jr. (1987). *A comparison of biological and chemical phosphorus removals in continuous and sequencing batch reactors*. J. Water Pollut. Control Fed. 59, 13-18.
- Lawrence, A. W. en McCarty, P. (1970). *Unified basis for biological treatment design and operation*. J. San Eng. Div. 96 (SA3), 757-778.
- Bidstrup S. M. en Grady, C. P. L., Jr. (1988). *SSSP - Simulation of single sludge processes*. J. Water Pollut. Control Fed. 60, 351-361.
- Manning, J. F., Irvine, R. L., Barth, E. F. en Chiesa, S. C. (1985). *The biological removal of phosphorus in a sequencing batch reactor*. Water Sci. Technol. 17, 311-312.
- Manning, J. F. en Irvine, R. L. (1985). *The biological removal of phosphorus in a sequencing batch reactor*. J. Water Pollut. Control Fed. 57, 87-94.
- Ketchum, L. H., Jr., Ping-Chau Liao en Irvine, R. L. (1978). *Economic evaluation of sequencing batch biological reactors*. Proc. 33rd Purdue Industrial Waste Conference, 357-376.
- Irvine, R. L. en Richter, R. O. (1978). *Comparative evaluation of sequencing batch reactors*. J. Env. Eng. Div. 104 (EE3), 503-514.
- Lauria, D. T., Uunk, J. B. en Schaefer, J. K. (1977). *Activated sludge process design*. J. Env. Eng. Div. 103, EE4, 625-645.
- Nieuwstad, Th. J., Wortel, N. C., Bout, F. N., van den Alting, B. J. (1989). *Een vergelijking tussen ladingsgewijze en continue zuivering van afvalwater*. Mededeling van de Vakgroep Gezondheidstechniek en Waterbeheersing, Nr. 27, in voorbereiding.
- Wortel, N. C. (1986). *Slibproductie bij laagbelaste batch-gewijze behandeling van afvalwater*. Afstudeerverslag Vakgroep Gezondheidstechniek en Waterbeheersing, juli 1986.
- Bout, F. N., van den (1988). *Slibproductie en zuiveringsresultaten van de sequencing batch reactor*. Afstudeerverslag Vakgroep Gezondheidstechniek en Waterbeheersing, juni 1988.
- Alting, B. J. (1988). *Batchgewijze actief-slibbehandeling van afvalwater op praktijk-schaal*. Afstudeerverslag Vakgroep Gezondheidstechniek en Waterbeheersing, september 1988.



Wegzijing uit vennen

• Slot van pagina 459

waterstanden beneden de venbodem. Dus in die gevallen waarbij de totale stromingsweerstand hoofdzakelijk wordt bepaald door de venbodem. Bij diepe grondwaterstanden onder de venbodem of bij een kleiner contrast tussen de verzadigde doorlatendheden van de venbodem en de ondergrond treden aanzienlijke verschillen op, zoals blijkt uit afb. 9.

Conclusies

Om de wegzijing uit een ven goed te kunnen voorspellen moeten de parameters die de wegzijing bepalen, nauwkeurig, en zo mogelijk met behulp van een veldstudie, worden vastgesteld. De wegzijing uit een ven is sterk afhankelijk van de dikte en de doorlatendheid van de venbodem. Het grondwater-niveau beneden de venbodem en de vendiepte zijn in mindere mate bepalend voor de wegzijing. Wanneer deze parameters bekend zijn, kan, als eerste benadering (worst-case), de wegzijing worden berekend uit de weerstand van de slecht doorlatende venbodem en het potentiaalverschil over deze laag. De hier beschreven methode om de wegzijing te berekenen gaat uit van de wet van Darcy waarbij, voor stationaire omstandigheden, de bij een bepaalde grondwaterstand behorende flux wordt berekend. Bij deze procedure wordt rekening gehouden met de mogelijkheid dat de venbodem niet over de gehele dikte verzadigd is en met het mogelijke effect van bodemfysische eigenschappen van de ondergrond. Deze methode geeft daarom een nauwkeuriger voorspelling van de wegzijing dan de eerder genoemde worst-case benadering.

Literatuur

- Bresler, E. (1978). *Analysis of trickle irrigation with application to design problems*. Irrig. Sci. 1: 3-17.
- Dekker, L. W., Bannink, M. H. en Booy, A. H. (1986). *Bodemfysisch en hydrologisch onderzoek naar de invloed van grondwaterstandsverlaging op wegzijing van water uit vennen nabij Sellingeren*. Rapport nr. 1859, Stiboka, Wageningen.
- Hendrickx, J. M. H., Dekker, L. W. en Bannink, M. H. et al. (1988). *Significance of soil survey for agrohydrological studies*. Agr. Water Managem. 14: 195-208.
- KNMI (1985). *Jaaroverzicht van het weer in Nederland: 1982*. De Bilt.
- Richter, J. (1980). *A simple numerical solution for the vertical flow equation of water through unsaturated soils*. Soil Sci. 129: 138-144.
- Rijtema, P. E. (1969). *Soil moisture forecasting*. Nota 513, ICW, Wageningen.
- Takagi, S. (1960). *Analysis of the vertical downward flow of water through a two-layered soil*. Soil Sci. 90: 98-103.
- Wösten, J. H. M., Bannink, M. H. en Beuving, J. (1987). *Waterretentie- en doorlatendheids-karakteristieken van boven- en ondergronden in Nederland: de Staringreeks*. ICW-rapport 18, Stiboka-rapport 1932 (herziene versie). Wageningen, 75 blz.

