

Daling van de grondwaterstand als gevolg van grondwateronttrekking

1. Inleiding

Bij het maken van plannen om in de toekomst aan de vraag naar water te kunnen voldoen, is het voor grote delen van Nederland van belang om te weten hoeveel water aan de bodem kan worden onttrokken.

Het gaat hierbij in eerste instantie om de vraag hoe groot de overtollige neerslag is, d.w.z. dat deel van de neerslag dat via het grondwater afgevoerd wordt naar open waterlopen. Deze hoeveelheid is dan, na aftrek van een zekere minimale grondwaterstroming, de maximaal winbare hoeveelheid.

De grondwaterwinning zal echter altijd grondwaterstandsverlaging tot gevolg hebben, waardoor belangen van anderen geschaad kunnen worden. In het bijzonder de landbouw zal in bepaalde gevallen belang hebben bij een grondwaterstand die niet te diep onder het maaiveld ligt. In gebieden met een doorlatende bodem en een lage grondwaterstand zal een verdere verlaging door grondwaterwinning geen schadelijk effect kunnen hebben: immers de stand van het grondwater had voor de winning een aanvang nam al geen betekenis voor de landbouw.

In gebieden waar de doorlatende lagen afgedekt zijn met een klei-achtige laag is de bovengrond in het algemeen zo waterhoudend, dat ook daar een verlaging van de grondwaterstand niet zo belangrijk is: de planten kunnen lange tijd teren op de voorraad water, die in de poriën boven het grondwater is geborgen.

In zandgebieden met een hoge grondwaterstand kunnen echter bij verlaging van de grondwaterstand oogstdepresies optreden, zodat een maximale waterwinning ontoelaatbare schade aan de landbouw kan berokkenen.

In het navolgende zal worden gepoogd de grondwaterstands-dalingen die het gevolg zijn van de wateronttrekking aan de bodem te bepalen, afhankelijk van de te winnen hoeveelheid en van de mate van spreiding van de winningsmiddelen.

2. Maximaal winbare hoeveelheid grondwater

De maximaal te winnen hoeveelheid grondwater kan worden gevonden uit de waterbalans. Stelt men de balans op voor het gehele stroomgebied van een rivier, dan komt aan water alleen de neerslag het gebied binnen.

TABEL I - Zomer, winter en jaarbalans Oude IJssel. — Afvoer: bij de stuw te Doesburg. — Neerslag: gemiddelde van Winterswijk

Jaar en maand	Grondwaterstanden op 28/3 en 28/9 in cm t.o.v. NAP in drie putten			Zomerbalans april t/m september				Neerslag N mm	Afvoer A mm	N+O.1D mm	N+O.1 ÷ A mm
	515 h Wisch	494 b Wisch	516 b Dinxp.	Daling grondwaterstand D in cm							
				515 h	494 b	516 b	Gem.				
54 m	1671	1766	1883								
s	1667	1760	1886	+ 4	+ 6	— 3	+ 2	490	89	492	403
55 m	1690	1797	1894								
s	1570	1665	1778	+ 120	+ 132	+ 116	+ 123	340	42	463	421
56 m	1653	1776	1837								
s	1686	1786	1906	— 33	— 10	— 69	— 37	488	104	451	347
57 m	1692	1815	1918								
s	1708	1803	1913	— 16	+ 12	+ 5	0	497	74	497	423
58 m	1667	1781	1893								
s	1651	1761	1859	+ 16	+ 20	+ 34	+ 23	490	82	513	431
59 m	1666	1788	1896								
s	1560	1638	1768	+ 106	+ 150	+ 128	+ 128	199	17	327	310
60 m	1630	1715	1841								
s	1653	1732	1855	— 23	— 17	— 14	— 18	492	56	474	418
61 m	1675	1786	1890								
s	1630	1735	1831	+ 45	+ 51	+ 59	+ 52	451	140	503	363
62 m	1665	1788	1886								
s	1614	1709	1832	+ 51	+ 79	+ 54	+ 61	389	98	450	352
63 m	1678	1792	1899								
s	1626	1725	1832	+ 52	+ 67	+ 67	+ 62	402	71	464	392
64 m	1675	1778	1878								
s	1531	1646	1762	+ 144	+ 132	+ 116	+ 131	305	26	436	410
65 m	1639	1778	1867								
s	1606	1743	1828	+ 33	+ 35	+ 39	+ 36	556	175	592	417
66 m	1673	1818	1918								
s	1628	1733	1837	+ 45	+ 85	+ 81	+ 70	496	160	566	406
67 m	1648	1801	1883								
s	1587	1673	1809	+ 61	+ 128	+ 74	+ 88	356	66	444	378
68 m	1640	1772	1860								
s	1678	1785	1907	— 38	— 13	— 47	— 33	494	92	461	369
69 m	1643	1779	1875								
Tot.				+ 567	+ 857	+ 640	+ 688	6445	1292	7133	5841
Gem.				+ 38	+ 57	+ 43	+ 46	430	86	476	390

Hierbij wordt verondersteld, dat de waterscheiding van het oppervlaktewater tevens de waterscheiding is van de grondwaterstroom.

Het water verlaat het gebied door verdamping en door afvoer via de rivier. Over een lange reeks van jaren is er evenwicht tussen inkomend en uitgaand water, zodat men geen rekening hoeft te houden met berging in het gebied.

Zo bedroeg in de periode april 1954 tot en met maart 1969 de gemiddelde neerslag in het stroomgebied van de Oude IJssel, 822 mm/jaar. Hiervan werd 303 mm afgevoerd via de stuw bij Doesburg. Verder bedroeg het waterverlies door kwel en door de schutsluis te Doesburg circa 40 mm per jaar.

Als restpost blijft dan voor de verdamping 480 mm per jaar over. In een wisselvallig klimaat als het onze varieert de jaarlijkse neerslag echter sterk. De verdamping gaat in een droog jaar zo veel mogelijk door, zodat de afvoer dan sterk vermindert, terwijl bovendien de grondwaterstand daalt.

In tabel I wordt de jaarbalans van het stroomgebied van de Oude IJssel gegeven, waaruit blijkt dat in de beschouwde periode van 15 jaar de neerslag varieert van 476 tot 1121 mm/jaar met bijbehorende afvoeren over de stuw te Doesburg van 56 tot 506 mm per jaar en bijbehorende grondwaterstandsdingingen van + 55 tot - 55 cm.

Stelt men de bergingscoëfficiënt op 10 % en het kwel- en

schutverlies op 40 cm, dan volgt hieruit een verdamping van 378 tot 540 mm per jaar.

Ook de verdeling van de overtollige neerslag over het jaar is zeer ongelijkmatig: in de zomer wordt de neerslag veelal overtroffen door de verdamping zodat de afvoer sterk verminderd en de grondwaterstand daalt.

In tabel I wordt ook de zomerbalans van de Oude IJssel gegeven, waarbij de zomer is gerekend van april t/m september. Gemiddeld viel er 430 mm neerslag, waarvan 86 mm werd afgevoerd over de stuw te Doesburg. Het schut- en kwelverlies wordt geraamd op 20 mm, terwijl de grondwaterstand gemiddeld 46 cm daalde.

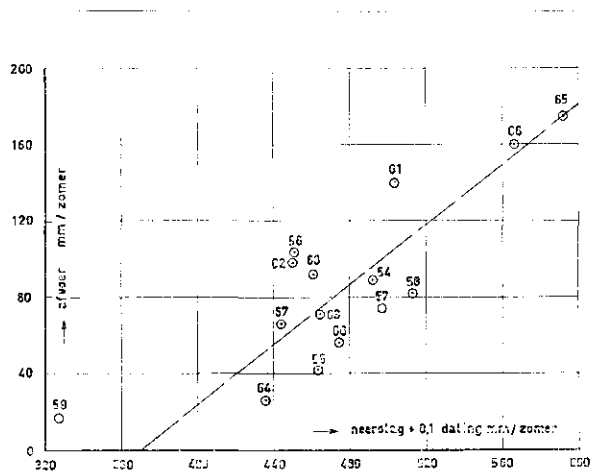
Als restpost blijft dan voor de verdamping 370 mm over. Ook in de zomer vertonen zich echter onderling grote verschillen: in de beschouwde periode varieerde de neerslag van 199 tot 556 mm, de afvoer over de stuw te Doesburg van 17 tot 75 mm en de grondwaterstandsdinging van + 131 cm tot - 37 cm. In de wintermaanden viel er gemiddeld 392 mm neerslag, waarvan 216 mm werd afgevoerd, terwijl de grondwaterstand gemiddeld 45 cm steeg. Rekening houdend met een kwel- en schutverlies van circa 20 mm komt dan de verdamping op 111 mm.

In de afb. 1 t/m 3 is de afvoer in een bepaalde periode uitgezet tegen de neerslag vermeerderd met de berging. Er blijkt een lineair verband te bestaan.

Nu kan men om droge perioden (zomers, jaren) te overbruggen een beroep doen op de grondwatervoorraad waarvan de inhoud zeer groot is t.o.v. de jaarlijkse af-

alten, Gendringen en Doetinchem. — Grondwaterstand: putten 515 h en 494 b in Wisch en 516 b in Dinxperlo.

Winterbalans oktober t/m maart				Jaarbalans april t/m maart											
Daling grondwaterstand Din cm				Neerslag N mm	Afvoer A mm	N+O.ID mm	N+O.ID ÷ A mm	Daling grondwaterstand D in cm				Neerslag N mm	Afvoer A mm	N+O.ID mm	N+O.ID ÷ A mm
15 h	494 b	516 b	Gem.					515 h	494 b	516 b	Gem.				
23	- 37	- 8	- 23	404	236	381	145	- 19	- 31	- 11	- 20	894	325	874	549
83	- 111	- 59	- 84	350	146	266	120	+ 37	+ 21	+ 57	+ 38	690	188	728	540
6	- 29	- 12	- 16	401	261	385	124	- 39	- 39	- 81	- 53	889	365	836	471
41	+ 22	+ 20	+ 28	347	255	375	120	+ 25	+ 34	+ 25	+ 28	844	329	872	543
15	- 27	- 37	- 26	335	181	309	128	+ 1	- 7	- 3	- 3	825	263	822	559
70	- 77	- 73	- 73	277	39	204	165	+ 36	+ 73	+ 55	+ 55	476	56	531	475
22	- 54	- 35	- 37	594	385	557	172	- 45	- 71	- 49	- 55	1086	441	1031	590
35	- 53	- 55	- 48	488	295	440	145	+ 10	- 2	+ 4	+ 4	939	435	943	508
64	- 83	- 67	- 71	254	117	183	66	- 13	- 4	- 13	- 10	643	215	633	418
49	- 53	- 46	- 49	266	123	217	94	+ 3	+ 14	+ 21	+ 13	668	194	681	487
108	- 132	- 105	- 115	369	126	254	128	+ 36	0	+ 11	+ 16	674	152	690	538
67	- 75	- 90	- 77	565	331	488	157	- 34	- 40	- 51	- 42	1121	506	1079	573
20	- 68	- 46	- 45	539	336	494	158	+ 25	+ 17	+ 35	+ 26	1035	496	1061	565
53	- 99	- 51	- 68	402	217	334	117	+ 8	+ 29	+ 23	+ 20	758	283	778	495
35	+ 12	+ 32	+ 26	294	200	320	120	- 3	- 1	- 15	- 6	788	292	782	490
539	- 864	- 632	- 678	5885	3248	5207	1959	+ 28	- 7	+ 8	+ 11	12330	4540	12341	7801
36	- 58	- 42	- 45	392	216	347	131	+ 2	- 1	+ 1	+ 1	822	303	823	520



Afb. 1 - Verband tussen de zomerafvoer bij de stuw te Doesburg en de neerslag vermeerderd met 10% van de grondwaterstands-daling $A = 0.8 (N + 0.1D - 370)$.

voer, zodat men voor de maximale winning toch uit kan gaan van de gemiddelde afvoer. Voor een gebied als de Oude IJssel betekent dit een mogelijke winning van 200 à 250 mm per jaar, dat wil zeggen de huidige afvoer ad 300 mm/jaar vermindert met een minimaal te handhaven grondwaterstroom van rond 50 mm/jaar.

In de zomer en in droge jaren zal dit evenwel zeer grote grondwaterstands-dalingen tot gevolg hebben.

Opmerking: In bovengenoemde gedachtengang is voor een gebied waar nog vrijwel geen grondwaterwinning plaatsvindt, de grondwaterstroom naar open watergangen gelijkgesteld aan de afvoer van de rivier.

De grondwaterwinning vermindert de grondwaterstroom naar de watergangen: het gewonnen water wordt echter via de riolering voor een groot deel weer op de grotere watergangen (beken, rivieren) gebracht, zodat de totale afvoer van de rivier nauwelijks zal veranderen.

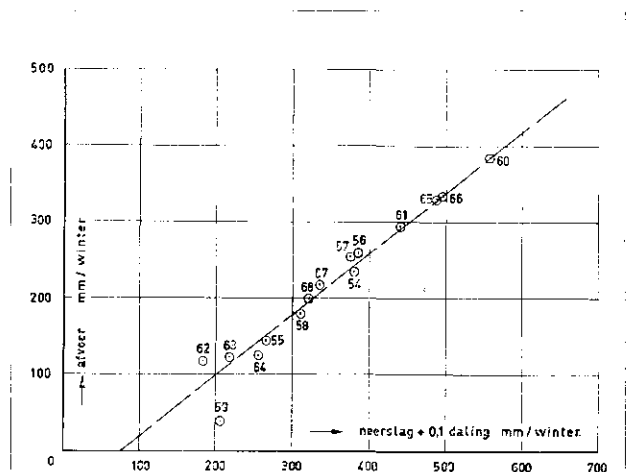
De verdeling van de afvoer van de rivier over het jaar zal echter wel sterk veranderen. Immers: de lozing van het gewonnen water vindt vrijwel gelijkmatig verdeeld over het jaar plaats. Een gevolg is dus dat de minimum afvoer van de rivier (zomers) vergroot zal worden ten koste van de grondwatervoorraad. In de winter zal de grondwatervoorraad weer aangevuld worden, zodat de winterafvoer van de rivier vermindert.

3. Consequenties t.a.v. de grondwaterstand

Met betrekking tot de gang van het water wordt het volgende gesteld:

In een tamelijk vlak gebied met een doorlatende bodem zal de overtollige neerslag vrijwel geheel in de bodem dringen. In perioden waarin de neerslag de verdamping overtreft, stijgt hierdoor de grondwaterspiegel. Komt de grondwaterspiegel boven de bodem van sloten en beken dan treedt een zekere afvoer op welke groter is naarmate de grondwaterspiegel verder boven de slootbodern staat. Bij te nauwe sloten zal bij overvloedige neerslag de grondwaterspiegel tot boven maaiveld stijgen.

In perioden waarin de verdamping de neerslag overtreft, daalt de grondwaterspiegel, de afvoer neemt af totdat de grondwaterspiegel onder de slootbodern daalt, de afvoer is dan nul. Houdt een dergelijke periode aan dan zal de



Afb. 2 - Verband tussen de winterafvoer bij de stuw te Doesburg en de neerslag vermeerderd met 10% van de grondwaterstands-daling $A = 0.8 (N + 0.1D - 75)$.

grondwaterspiegel verder onder de slootbodern dalen. Er wordt nog op gewezen dat afvoerverbetering door verdieping van sloten en beken leidt tot een snellere afvoer doch tevens tot een lagere grondwaterstand. Immers, de afvoer houdt pas op als de grondwaterstand tot onder de slootbodern is gedaald.

Teneinde deze lagere grondwaterstanden te voorkomen moet afvoerverbetering dus gezocht worden in slootverbreiding of in diepe sloten die in het voorjaar bijtijds opgestuwd kunnen worden.

Wordt aan een dergelijk gebied grondwater onttrokken dan zal deze onttrekking in eerste instantie geschieden ten koste van de overtollige neerslag. Dit betekent dus dat de grondwaterstroom naar sloten en beken vermindert, hetgeen leidt tot lagere grondwaterstanden.

Indien men het verband tussen de afvoer en de grondwaterstand kent, kan men in tijden waarin de onttrekking kleiner is dan de overtollige neerslag, de verlaging van de grondwaterstand berekenen (ΔG).

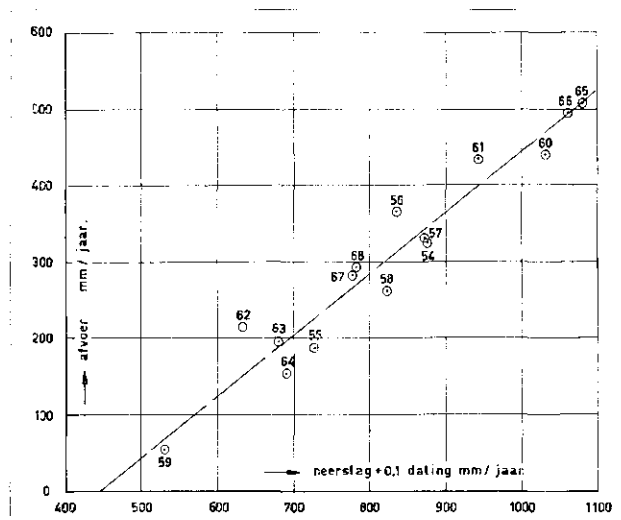
In perioden waarin de onttrekking groter is dan de overtollige neerslag zal de grondwaterspiegel dalen onder de slootbodern. De onttrekking geschiedt dan geheel of gedeeltelijk ten koste van de grondwatervoorraad.

De dan optredende dalingen hangen af van de mate waarin de overtollige neerslag kleiner is dan de onttrekking (ΔZ).

Indien de onttrekking gelijkmatig over het gebied zou plaatsvinden, zouden geen andere dalingen te verwachten zijn.

Bij een onttrekking, welke niet gelijkmatig over de oppervlakte verdeeld is, zoals dat bij een centrale drinkwatervoorziening onvermijdelijk is, dient de overtollige neerslag welke min of meer verdeeld op het gebied valt, naar de onttrekkingspunten te stromen. Hiervoor is een zeker verhang nodig dat groter is naarmate de stroomsnelheid door de bodem groter is.

Bij concentrische stroming, dus naarmate het water dicht bij het onttrekkingspunt komt, ontstaan verlagingen van de grondwaterstand in de vorm van een kegel ($\Delta \phi$). Om ieder onttrekkingspunt ontstaat een dergelijke afpompingskegel: het grondvlak van deze kegel is maximaal indien de onttrekking groter of gelijk is aan de



Afb. 3 - Verband tussen de jaarafvoer bij de stuw te Doesburg en de neerslag vermeerderd met 10% van de grondwaterstands-daling $A = 0.8 (N + 0.1D - 445)$.

overtollige neerslag welke op het gebied valt, de grondvlakken van de afpompingskegels raken elkaar dan. Bij een onttrekking die gelijk is aan de overtollige neerslag is de hoogteligging van de kegel constant, bij een onttrekking die groter is dan de overtollige neerslag daalt het kegelvlak in zijn geheel, waarbij de oppervlakte van het grondvlak van de kegel constant blijft.

Is de onttrekking kleiner dan de overtollige neerslag dan zal het kegelvlak in zijn geheel stijgen tot dat het grondvlak ligt ter hoogte van de bodem van sloten en beken. Houdt een dergelijke periode aan, dan zal een deel van de overtollige neerslag afgevoerd worden, het grondvlak van de kegel wordt kleiner en past zich aan aan de onttrekking.

In het navolgende worden betrekkingen afgeleid voor de hierboven genoemde verlagingen ΔG , ΔZ en $\Delta \varphi$.

a. Dalingen als gevolg van verminderde afvoer (ΔG)

Beschouwd men het verloop van de grondwaterstand in een bepaald punt over een reeks van jaren, dan zijn daarin perioden te vinden waarin de grondwaterstand niet veel varieerde.

Men kan bij die perioden de gemiddelde maandelijkse afvoer opzoeken.

In tabel II is zulks gedaan voor de waterstand in brandput 515h te Wisch en de afvoer van de Oude IJssel over de stuw te Doesburg.

In afb. 4 is de grondwaterstand uitgezet tegen de afvoer. Er blijkt een zeker verband te bestaan dat kan worden voorgesteld door:

$$G = 25 A + 1595.$$

Hierin is G de grondwaterstand in de brandput 515h te Wisch in cm boven NAP, A is de afvoer over de stuw te Doesburg in cm per maand.

Het verband is geldig voor een afvoer van 0 tot circa 30 mm. Omgerekend op jaarbasis: $G = 2.1 A + 1595$. Indien de grondwaterstroom naar de sloten tengevolge van de grondwaterwinning met W cm per jaar vermindert, dan zal de grondwaterstand met $\Delta G = 2.1 W$ cm dalen in perioden waarin de overtollige neerslag groter is dan W cm per jaar.

Deze daling is alleen afhankelijk van de te winnen over-

tollige neerslag en onafhankelijk van de mate van spreiding van de winningsmiddelen.

In afb. 5 is de maandelijkse afvoer over de stuw te Doesburg in mm uitgezet tegen de tijd. Tevens zijn het werkelijke grondwaterstandsverloop en het uit de afvoer berekende grondwaterstandsverloop uitgezet. Er blijkt een redelijke overeenkomst te bestaan.

b. Zomerdalingen (ΔZ)

In de zomerperioden wordt de overtollige neerslag in het algemeen overtroffen door de onttrekking. De onttrekking gaat dan ten koste van de grondwatervoorraad, waardoor extra grondwaterstands-dalingen optreden. In de daarop volgende winterperioden wordt de grondwater-voorraad weer aangevuld.

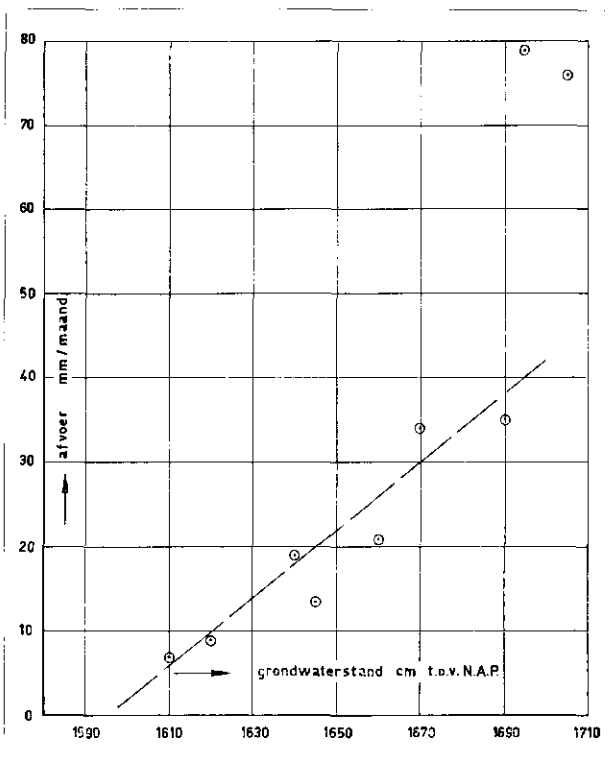
De zomerdaling zal het grootst zijn in droge perioden: voor het stroomgebied van de Oude IJssel had in de jaren april 1954 tot en met maart 1969 de periode mei 1959 tot en met juli 1960 de minste overtollige neerslag. Uitgaande van evenwicht in mei 1959, kan men dan de gesommeerde afvoer vergelijken met een gesommeerde onttrekking van W mm per maand. In tabel III is zulks gedaan. De maximale verschillen tussen gesommeerde afvoer en gesommeerde onttrekking zijn onderstreept. Zet men deze maxima uit tegen de maandelijkse winning, dan ontstaat afb. 6.

Uit de tabel blijkt nog het volgende.

1. Bij een onttrekking van 5 mm per maand was de geringe overtollige neerslag in de winter 1959-1960 nog voldoende om de extra zomerdaling aan te vullen.
2. Bij een onttrekking van meer dan 5 mm was dit niet het geval: de grootste zomerdaling in de beschouwde periode treedt dan op in juli 1960.

Afb. 4 - Verband tussen de afvoer over de stuw te Doesburg in mm per maand en de grondwaterstand in put 515 h te Wisch in cm t.o.v. NAP.

$$G = 2.5 A + 1595 \text{ cm t.o.v. NAP.}$$



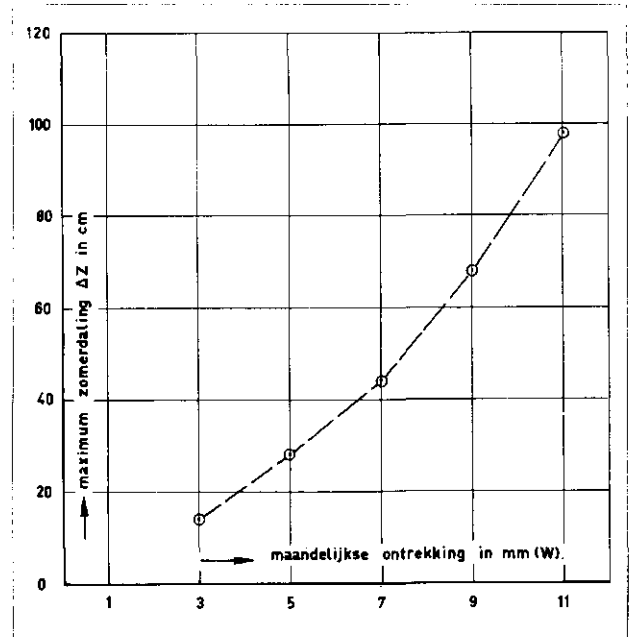
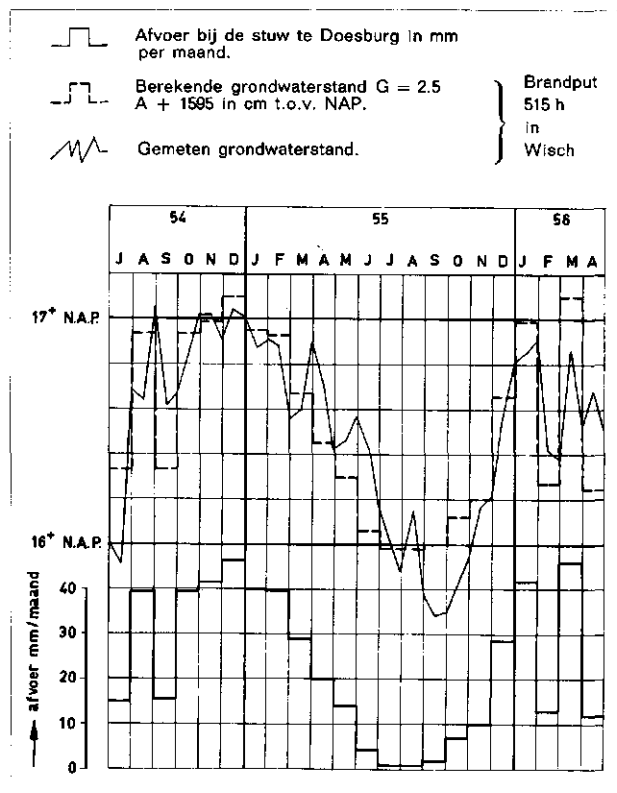
TABEL II - Afvoer te Doesburg in mm per maand bij vrijwel constante grondwaterstand in put 515 h in de gemeente Wisch.

Periode	Gemiddelde afvoer mm per maand	Put 515 h Gemiddelde grondwaterstand t.o.v. NAP
10/56 t/m 1/57	$\frac{141}{4} = 35$	16.90
5/58 t/m 9/58	$\frac{66}{5} = 13$	16.45
11/60 t/m 2/61	$\frac{304.7}{4} = 76$	17.05
5/61 t/m 9/61	$\frac{93}{5} = 19$	16.40
11/61 t/m 2/62	$\frac{236}{4} = 79$	16.95
3/62 t/m 5/62	$\frac{103}{3} = 34$	16.70
7/62 t/m 11/62	$\frac{36}{5} = 7$	16.10
6/63 t/m 10/63	$\frac{45}{5} = 9$	16.20
11/63 t/m 4/64	$\frac{124}{6} = 21$	16.60

Gaat men uit van een bergingscoëfficiënt van 10 %, dan geven de waarden $\Sigma A - \Sigma W$ de zomerdaling in cm weer.

Ook deze daling is alleen afhankelijk van de te winnen hoeveelheid overtollige neerslag en onafhankelijk van de spreiding van de winningsmiddelen.

Afb. 5



Afb. 6 - Verband tussen de winning per maand (W) en de maximum zomerdaling ΔZ in de periode mei 1959 tot juli 1960.

c. Afpompingskegel ($\Delta \varphi$)

In het geval van één winningspunt in een uitgestrekt gebied zal het grondvlak van de afpompingskegel in perioden waarin de overtollige neerslag kleiner is dan de onttrekking steeds groter worden.

Bij een verdeling van de te winnen hoeveelheid over een aantal winningspunten kunnen de grondvlakken van de kegels echter niet groter worden dan overeenkomt met een aan elk winningspunt toe te delen infiltratie gebied. Zodra de grondvlakken elkaar raken veranderen zij niet van vorm en gaat de kegel in zijn geheel dalen.

In deze situatie kan men voor de berekening van $\Delta \varphi$ uitgaan van een ronde met zand gevulde bak, straal R, waaruit in het midden water gewonnen wordt: Q_0 .

Bij een gelijkmatige verdeling van de onttrekking over de oppervlakte van de bak volgt dan een winning $W = \frac{Q_0}{\pi R^2}$

De waterstroom Q_r door de cylindermantel met straal r is dan

$$Q_r = W \pi (R^2 - r^2) = Q_0 \left(1 - \frac{r^2}{R^2}\right) = 2 \pi r k \varphi \frac{d\varphi}{dr}$$

$$\text{of: } \frac{Q_0}{\pi k} \left(\frac{1}{r} - \frac{r}{R^2}\right) dr = 2 \varphi d\varphi$$

$$\text{Integratie: } \frac{Q_0}{\pi k} \left(\ln r - \frac{r^2}{2R^2}\right) = \varphi^2 + c$$

randvoorwaarde $r = R \rightarrow \varphi = D$

$$\text{hieruit volgt: } \frac{Q_0}{\pi k} \left(\ln \frac{r}{R} + \frac{R^2 - r^2}{2R^2}\right) = \varphi^2 - D^2$$

Stelt men $\varphi + D = 2D$ en $\varphi - D = \Delta \varphi$

$$\text{dan volgt } \Delta \varphi = \frac{Q_0}{2 \pi k D} \left(\ln \frac{r}{R} + \frac{R^2 - r^2}{2R^2}\right)$$

$$\text{De inhoud van de afpompingskegel bedraagt } I = \frac{Q_0 R^2}{8 k D}$$

TABEL III - Berekening van het verschil tussen de gesommeerde afvoer te Doesburg en de gesommeerde winning in de periode mei 1959 tot en met november 1960. Het maximale verschil is vet gezet

Maand	Afvoer A mm	εA mm	Waterwinning W										
			ε3 mm	εA - ε3 mm	ε5 mm	εA - ε5 mm	ε7 mm	εA - ε7 mm	ε9 mm	εA - ε9 mm	ε11 mm	εA - ε11 mm	
1959													
mei	4	4	3	+ 1	5	- 1	7	- 3	9	- 5	11	- 7	
juni	0	4	6	- 2	10	- 6	14	- 10	18	- 14	22	- 18	
juli	0	4	9	- 5	15	- 11	21	- 17	27	- 23	33	- 29	
augustus	1	5	12	- 7	20	- 15	28	- 23	36	- 31	44	- 39	
september	0	5	15	- 10	25	- 20	35	- 30	45	- 40	55	- 50	
oktober	0	5	18	- 13	30	- 25	42	- 37	54	- 49	66	- 61	
november	2	7	21	- 14	35	- 28	49	- 42	63	- 56	77	- 70	
december	5	12	24	- 12	40	- 28	56	- 44	72	- 60	88	- 76	
1960													
januari	12	24	27	- 3	45	- 21	63	- 39	81	- 57	99	- 75	
februari	18	42	30	+ 12	50	- 8	70	- 28	90	- 48	110	- 68	
maart	12	54	33		55	- 1	77	- 23	99	- 45	121	- 67	
april	3	57			60	- 3	84	- 27	108	- 51	132	- 75	
mei	4	61			65	- 4	91	- 30	117	- 56	143	- 82	
juni	4	65			70	- 5	98	- 33	126	- 61	154	- 89	
juli	2	67			75	- 8	105	- 38	135	- 68	165	- 98	
augustus	17	84			80	+ 4	112	- 28	144	- 60	176	- 92	
september	27	111					119	+ 8	153	- 42	187	- 86	
oktober	41	152							162	- 10	198	- 46	
november	68	220							171	+ 49	209	+ 11	

De gemiddelde daling is dan $\Delta \varphi_g = \frac{I}{F} = \frac{1}{\pi R^2} \times$

$$\times \frac{Q_0 R^2}{8 kD} = \frac{Q_0}{8 \pi kD}$$

De straal van de cirkel waar de gemiddelde daling optreedt volgt uit:

$$\Delta \varphi_g = \frac{Q_0}{2 \pi kD} \left(\ln \frac{rg}{R} + \frac{R^2 - rg^2}{2 R^2} \right) = \frac{Q_0}{8 \pi kD}$$

of:

$$\ln \frac{rg}{R} + \frac{R^2 - rg^2}{2 R^2} = 0,25$$

$$\therefore \frac{rg}{R} = 0,55, \quad \frac{rg^2}{R^2} = 0,30$$

Dat wil zeggen dat in rond 30 % van het gebied de daling groter is dan de gemiddelde daling, en in de rest van het gebied kleiner.

Op deze wijze kan verder berekend worden in welk deel van het gebied de daling groter zal zijn dan $n \times \Delta \varphi_g$ (tabel IV).

De gemiddelde daling $\Delta \varphi_g = \frac{Q_0}{8 \pi kD}$ is afhankelijk van

TABEL IV - Oppervlakte van het gebied waar de daling, welke het gevolg is van de ongelijkmatig verdeelde winning, groter is dan een factor n maal de gemiddelde daling, in procenten van het totale infiltratiegebied

30 %	$\Delta \varphi >$	$\Delta \varphi_g$
16 %	$\Delta \varphi >$	2 x $\Delta \varphi_g$
9 %	$\Delta \varphi >$	3 x $\Delta \varphi_g$
5 %	$\Delta \varphi >$	4 x $\Delta \varphi_g$
3 %	$\Delta \varphi >$	5 x $\Delta \varphi_g$
2 %	$\Delta \varphi >$	6 x $\Delta \varphi_g$
1 %	$\Delta \varphi >$	7 x $\Delta \varphi_g$
0.6 %	$\Delta \varphi >$	8 x $\Delta \varphi_g$

de per winningspunt te onttrekken hoeveelheid en onafhankelijk van de te winnen overtollige neerslag.

4. De totale grondwaterstands daling

In perioden waarin de onttrekking gelijk is aan de overtollige neerslag (voorjaar) treden alleen ΔG en $\Delta \varphi$ op. Is de onttrekking kleiner dan de overtollige neerslag dan is ook de gemiddelde grondwaterstands daling kleiner dan $\Delta G + \Delta \varphi$ (winter).

Aan het einde van een periode waarin de maandelijkse onttrekking steeds groter was dan de overtollige neerslag is de gemiddelde grondwaterstands daling $\Delta G + \Delta \varphi + \Delta Z$.

Aan de hand van een voorbeeld zal een en ander nader worden beschouwd.

Uit een gebied van 700 km² met een KD waarde van 1.000.000 m²/jaar zal 28.000.000 m³/jaar gewonnen worden. Derhalve een winning van $W = 40$ mm per jaar.

De grondwaterstands daling ten gevolge van de verminderde afvoer uit dit gebied bedraagt dan $\Delta G = 2.1 \times W = 0.08$ m.

De maximum zomerdaling in een periode als '59-'60 bedraagt $\Delta Z = 0.18$ m (afb. 6).

Bij de verdeling van de te winnen hoeveelheid over 18 winplaatsen van ruim 1.500.000 m³/jaar wordt $\Delta \varphi =$

$$= \frac{Q_0}{8 \pi kD} = 0.06 \text{ m.}$$

De totale daling in het voorjaar bedraagt dus in 70 % van het gebied minder dan 0.14 m en in 5 % van het gebied meer dan $\Delta G + 4 \Delta \varphi = 0.32$ m.

Zou men de winning verdelen over 11 winplaatsen van ruim 2.500.000 m³/jaar dan komt $\Delta \varphi$ op 0.10 m.

De totale daling is dan in het voorjaar 70 % van het gebied minder dan 0.18 m en in 5 % van het gebied meer dan 0.48 m.

Onder de omstandigheden als in '59-'60 zijn de dalingen aan het einde van de zomerperiode alle 0.18 m groter.

● Slot op pag. 603

- *Vervolg van pag. 601*

Daling van de grondwaterstand als gevolg van grondwateronttrekking

5. Conclusies

a. De daling van de grondwaterstand tengevolge van grondwaterwinning kan worden samengesteld uit drie factoren:

1. Bij een volkomen gespreide winning treedt een gelijkmatige daling over het gehele gebied op als gevolg van een verminderde afvoer naar beken en sloten.
2. In perioden waarin de winning de oorspronkelijke afvoer overtreft treedt een gelijkmatige extra daling op door onttrekking van water aan de grondwatervoorraad.
Deze beide dalingen zijn alleen afhankelijk van de totale grondwaterwinning.

Een verdeling van de winning over een groot aantal kleine

winplaatsen heeft voor een vermindering van de gemiddelde waterstands daling weinig betekenis, zoals blijkt uit de voorbeelden op blz. 600.

b. Door de grondwaterwinning wordt de afvoer van de overtollige neerslag gelijkmatiger: in de zomer zullen de afvoeren door de rivieren toenemen door het lozen van afvalwater, terwijl de hierdoor ontstane grondwaterstands dalingen in de winter weer worden opgevuld, zodat de winterafvoer van de rivieren vermindert.

De grondwaterwinning scheidt als het ware een gelegenheid om afvoertoppen te bergen, die in het voorbeeld op blz. 601 met elf pompstations van 2.500.000 m³/jaar op een gebied van 700 km² en een bergingscoëfficiënt van 10 % een inhoud heeft van 18 mm ofwel 12.500.000 m³.