

Rapport nr. 1971

Bodemfysische karakteristieken van rook-
gasontzwavelingsgips van een proefopslag
bij de kolencentrale te Weurt

STICHTING VOOR BODEMKARTERING
Postbus 98
6700 AB Wageningen
Tel. 08370 - 19100

© 1986 STIBOKA

De Stichting voor Bodemkartering aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Niets uit deze uitgave mag worden veeleenvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm en op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de Stichting voor Bodemkartering en de KEMA.

Project nr. 71.7068

152/yvp/12.86

Rapport nr. 1971^I

BIBLIOTHEEK
STARRINGGEBOUW

BODEMFYSISCH KRAKTERISTIEKEN VAN ROOKGASONT-
ZWAVELINGSIPS VAN EEN PROEFOPSLAG BIJ DE KOLEN-
CENTRALE TE WEURT

M.H. Bannink

Stichting voor Bodemkartering, Wageningen, 1986

6 JAN. 1987

JSN 254584*

	INHOUD	Blz.
	WOORD VOORAF	7
1	INLEIDING	9
2	MONSTERNAME EN FYSISCH BEPALINGEN	11
3	RESULTATEN	13
	LITERATUUR	19
	AFBEELDINGEN	
1	Dehydratatie en rehydratatie van gips bij constante druk	11
2	Waterretentiekarakteristieken van ro-gips	12
3	Doorlatendheidskarakteristieken van ro-gips	14
	TABELLEN	
1	h, log(h) en K per volumefractie van θ voor rookgasontzwavelingsgips van een proefopslag bij de kolencentrale te Weurt. Diepte: 0-20 cm	15
2	h, log(h) en K per volumefractie van θ voor rookgasontzwavelingsgips van een proefopslag bij de kolencentrale te Weurt. Diepte: 70-90 cm	16
3	Stijghoogtes en verzadigingstekorten van rookgasontzwavelingsgips van een proefopslag bij de kolencentrale te Weurt. Diepte: 0-20 cm	17
4	Stijghoogtes en verzadigingstekorten van rookgasontzwavelingsgips van een proefopslag bij de kolencentrale te Weurt. Diepte: 70-90 cm	18

WOORD VOORAF

In oktober 1986 heeft de Stichting voor Bodemkartering in opdracht van de KEMA bodemfysische karakteristieken gemeten aan rookgasontzwavelingsgips van een proefopslag bij de kolencentrale te Weurt.

Het onderzoek is uitgevoerd door ing. M.H. Bannink; dr.ir. J. M.H. Hendrickx was wetenschappelijk begeleider van dit project.

De directeur van de
Stichting voor Bodemkartering,

Dr.ir. F. Sonneveld

1 INLEIDING

In opdracht van de KEMA voerde de Stichting voor Bodemkartering een onderzoek uit naar de bodemfysische karakteristieken van rookgasontzwavelingsgips (ro-gips).

Ro-gips zal de komende jaren in grote hoeveelheden vrijkomen uit kolengestookte electriciteitscentrales. De prognose is dat de hoeveelheid ro-gips de komende jaren toe zal nemen van 0,04 tot 0,4 miljoen ton/jaar (Bolt en Snel 1986). Ro-gips ontstaat door zwaveloxiden uit rookgassen met kalk te laten reageren.

Ro-gips wordt verwerkt tot gipsplaten voor de bouw. Tussen het moment van vrijkomen van het ro-gips en de verwerking wordt het tijdelijk opgeslagen. De opslag vindt plaats in silo's of in de open lucht. Wanneer opslag in de open lucht plaats vindt, bepalen de (onverzadigde) doorlatendheid ($K(h)$ -relatie) en het waterbergend vermogen ($h(\theta)$ -relatie) in belangrijke mate of en wanneer percolatie op zal treden. Percolatie van water uit ro-gips dient uit milieu-overwegingen zoveel mogelijk te worden voorkomen omdat geringe hoeveelheden zware metalen, of andere voor het milieu schadelijke stoffen, met het percolaat kunnen worden meegevoerd.

De $K(h)$ -relatie en de $h(\theta)$ -relatie van ro-gips zijn bepaald aan de laag van 0-20 cm en aan de laag van 70-90 cm van een proefopslag bij de kolencentrale te Weurt. De bepalingen zijn gedaan aan ongestoorde monsters.

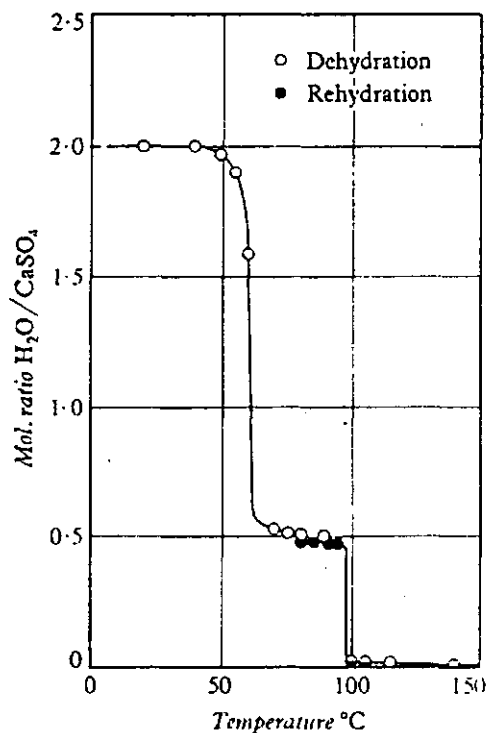
In hoofdstuk 2 gaan we kort in op de toegepaste methoden, in hoofdstuk 3 staan de resultaten van het onderzoek vermeld.

2 MONSTERNAME EN FYSISCHE BEPALINGEN

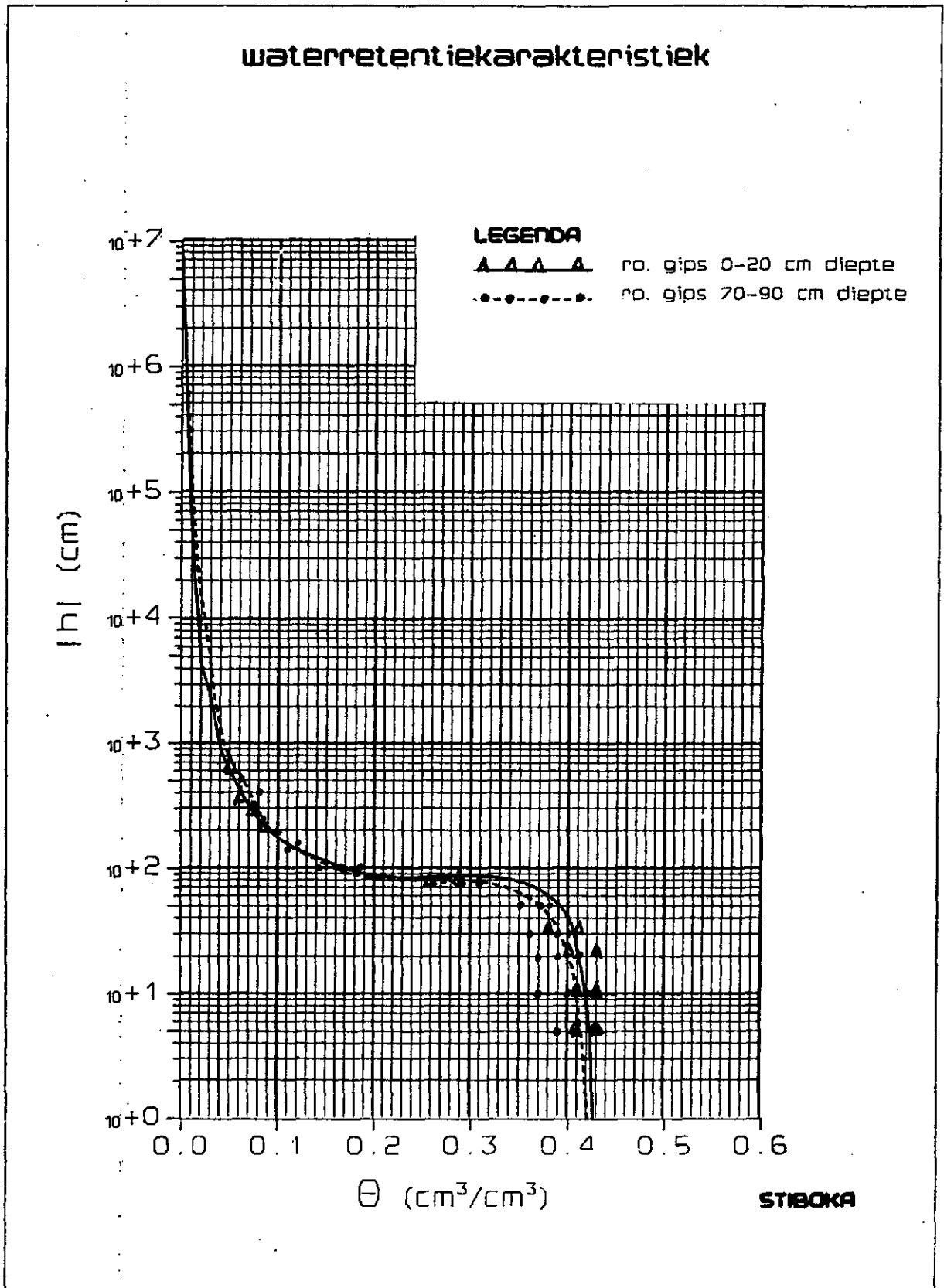
De bemonstering is per laag in drievoud uitgevoerd. Voor het bepalen van de $K(h)$ -relatie zijn ongestoorde monsters genomen in plastic cilinders met een hoogte en diameter van 20 cm (ca. 6200 cm³), en ongestoorde monsters in stalen ringen met een hoogte van 10 cm en een diameter van 5 cm (ca. 200 cm³). Voor het bepalen van de $h(\theta)$ -relatie zijn ongeroerde monsters genomen in stalen ringen met een hoogte van 7 cm en een diameter van 7,4 cm (ca. 300 cm³).

De metingen zijn in het laboratorium verricht. De toegepaste methodes om de $K(h)$ -relatie en de $h(\theta)$ -relatie te bepalen zijn beschreven door Verlinden en Bouma (1983) en door Wösten (1985).

De ro-gipsmonsters zijn in de oven gedroogd bij 40°C en niet bij 105°C zoals gebruikelijk is, omdat bij temperaturen hoger dan 50°C aan het gips gebonden water verdamppt (dehydratatie), zoals blijkt uit afbeelding 1.



Afbeelding 1: Dehydratatie en rehydratatie van gips bij constante druk (naar Weiser e.a. 1936).



Afbeelding 2: Waterretentiekaracteristieken van ro-gips.

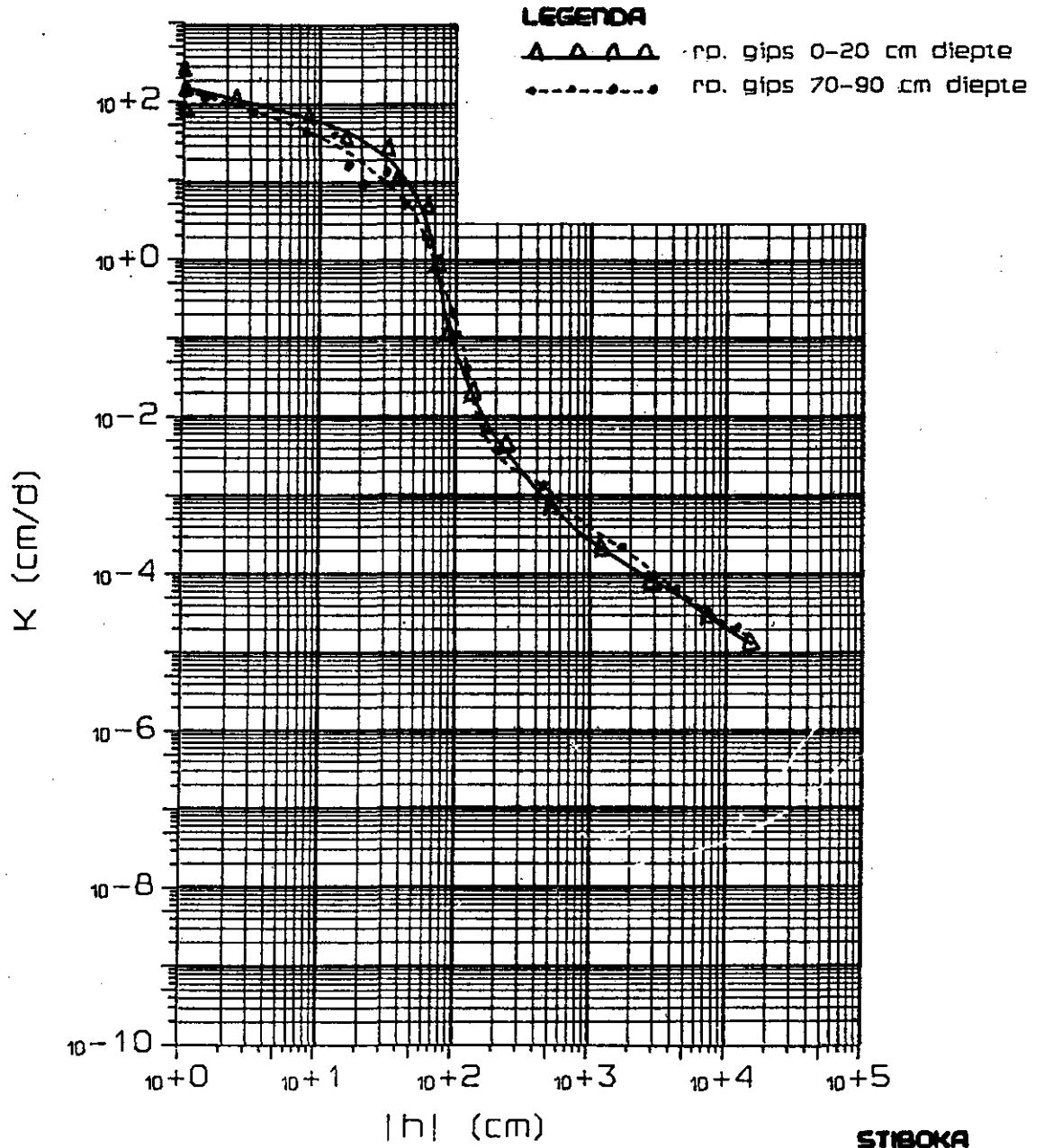
3 RESULTATEN

De waterretentiekarakteristieken ($h(\theta)$ -relaties) van de laag van 0-20 cm en van de laag van 70-90 cm staan weergegeven in afbeelding 2. De doorlatendheidskarakteristieken ($K(h)$ -relaties) van deze lagen staan weergegeven in afbeelding 3. Uit de afbeeldingen blijkt dat zowel de doorlatendheidskarakteristieken als de waterretentiekarakteristieken van deze lagen nauwelijks van elkaar verschillen. Voor praktische toepassingen kan vermoedelijk met een doorlatendheidskarakteristiek en een waterretentiekarakteristiek voor deze proefopslag worden volstaan. Ook de gemiddelde dichtheid van de laag van 0-20 cm en van de laag van 70-90 cm zijn vrijwel gelijk aan elkaar: resp. $1,17 \text{ g/cm}^3$ en $1,14 \text{ g/cm}^3$. De waterretentiekarakteristiek en de doorlatendheidskarakteristiek van ro-gips vertonen een typische "zandvorm": een sterke "stoelvorm" in de waterretentiekarakteristiek en een sterke afname van de doorlatendheid in het drukhoogtetraject van $h = -30 \text{ cm}$ tot $h = -100 \text{ cm}$.

De tabellen 1 en 2 geven de uit de $K(h)$ -relatie en $h(\theta)$ -relatie afgeleide drukhoogte (h) en doorlatendheid (K) per volumefractie vocht, voor resp. de laag van 0-20 cm en de laag van 70-90 cm.

Uitgaand van de $K(h)$ -relaties en de $h(\theta)$ -relaties zijn stijghoogtes en verzadigingstekorten berekend voor een aantal combinaties van fluxen en drukhoogtes. De stijghoogte geeft aan wat de maximale hoogte van de capillaire opstijging is bij een bepaalde combinatie van flux en drukhoogte. Bij een flux van $0,2 \text{ cm/dag}$ en een drukhoogte van -100 cm is de capillaire stijghoogte $83,7 \text{ cm}$ (tabel 3). Het verzadigingstekort geeft aan hoeveel water nodig is om de grond, uitgaand van een bepaalde flux en drukhoogte, geheel met water te verzadigen. Voor de flux en drukhoogte uit bovenstaand voorbeeld is het verzadigingstekort $5,76 \text{ cm water}$ (tabel 3). De resultaten van de berekeningen van stijghoogtes en verzadigingstekorten staan vermeld in de tabellen 3 (0-20 cm) en 4 (70-90 cm).

doorlatendheidskarakteristiek



Afbeelding 3: Doorlatendheidskarakteristieken van ro-gips

Tabel 1: h , $\log|h|$ en K per volumefractie van θ
 voor rookgasontzwavelingsgips van een
 proefopslag bij de kolencentrale te Weurt.
 Diepte: 0-20 cm

θ (cm ³ /cm ³)	h (cm)	$\log h $ (pF)	K (cm/d)
0,425	0		150,000
0,420	-5	0,67	81,197
0,410	-21	1,32	32,970
0,400	-41	1,61	12,478
0,390	-50	1,70	5,822
0,380	-53	1,73	4,443
0,370	-56	1,75	3,498
0,360	-58	1,76	2,759
0,350	-60	1,78	2,244
0,340	-62	1,79	1,882
0,330	-64	1,80	1,621
0,320	-65	1,81	1,430
0,310	-66	1,82	1,286
0,300	-67	1,83	1,172
0,290	-68	1,83	1,077
0,280	-69	1,84	0,992
0,270	-70	1,84	0,910
0,260	-71	1,85	0,828
0,250	-72	1,86	0,741
0,240	-73	1,87	0,649
0,230	-75	1,88	0,553
0,220	-77	1,89	0,455
0,210	-80	1,90	0,360
0,200	-84	1,92	0,273
0,190	-88	1,94	0,197
0,180	-93	1,97	0,136
0,170	-100	2,00	0,091
0,160	-108	2,03	0,061
0,150	-116	2,06	0,042
0,140	-126	2,10	0,029
0,130	-137	2,14	0,020
0,120	-150	2,18	0,014
0,110	-167	2,22	0,010
0,100	-188	2,27	0,704E-02
0,090	-214	2,33	0,496E-02
0,080	-251	2,40	0,341E-02
0,070	-317	2,50	0,203E-02
0,060	-434	2,64	0,109E-02
0,050	-613	2,79	0,594E-03
0,040	-1036	3,02	0,268E-03
0,030	-2256	3,35	0,111E-03
0,020	-5415	3,73	0,443E-04
0,010	-0,868E+05	4,94	0,280E-05
0,000	-0,100E+08	7,00	0,100E-06

Tabel 2: h, log|h| en K per volumefractie van θ
 voor rookgasontzwavelingsgips van een
 proefopslag bij de kolencentrale te Weurt.
 Diepte: 70-90 cm.

θ (cm ³ /cm ³)	h (cm)	log h (pF)	K (cm/d)
0,420	0		140,000
0,410	-8	0,88	44,021
0,400	-20	1,30	18,000
0,390	-31	1,49	9,500
0,380	-41	1,62	6,073
0,370	-50	1,70	4,000
0,360	-55	1,74	3,072
0,350	-59	1,77	2,385
0,340	-63	1,80	1,897
0,330	-66	1,82	1,558
0,320	-68	1,83	1,325
0,310	-70	1,85	1,164
0,300	-72	1,86	1,055
0,290	-73	1,86	0,982
0,280	-74	1,87	0,932
0,270	-74	1,87	0,897
0,260	-75	1,87	0,870
0,250	-75	1,88	0,846
0,240	-76	1,88	0,817
0,230	-77	1,89	0,779
0,220	-78	1,89	0,729
0,210	-79	1,90	0,663
0,200	-81	1,91	0,582
0,190	-84	1,93	0,489
0,180	-88	1,95	0,389
0,170	-93	1,97	0,290
0,160	-100	2,00	0,200
0,150	-106	2,03	0,143
0,140	-111	2,05	0,111
0,130	-117	2,07	0,085
0,120	-125	2,10	0,057
0,110	-140	2,15	0,031
0,100	-166	2,22	0,013
0,090	-213	2,33	0,415E-02
0,080	-297	2,47	0,179E-02
0,070	-420	2,62	0,136E-02
0,060	-595	2,77	0,975E-03
0,050	-841	2,92	0,548E-03
0,040	-1388	3,14	0,265E-03
0,030	-5000	3,70	0,550E-04
0,020	-0,160E+05	4,20	0,160E-04
0,010	-0,187E+06	5,27	0,891E-06
0,000	-0,100E+08	7,00	0,100E-08

Tabel 3: Stijghoogtes en verzadigingstekorten van rookgasontzwevelingsgips van een proefopslag bij de kolencentrale te Weurt.
Diepte: 0-20 cm

h (cm)	0	10	20	31	50	100	250	500	1000	2500	5000	10000	16000
K (cm/dag)	150,00	55,00	34,00	20,00	7,10	8,0E-2	3,5E-3	8,5E-4	2,8E-4	1,0E-4	4,9E-5	2,1E-5	1,3E-5
θ (m ³ /m ³)	0,425	0,417	0,410	0,405	0,390	0,170	0,080	0,056	0,040	0,030	0,020	0,018	0,015

De relatie tussen de drukhoogte (cm) aan de bovenkant van de ondergrond, de grondwaterstandsdiepte beneden de wortelzone (eerste kolom, in cm) en het verzadigingstekort (tweede kolom, in cm) van de ondergrond voor 18 constante fluxen (cm/dag).

dr. hoogte	0,000	0,500	0,400	0,300	0,200	0,150	0,125	0,100	0,080
0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
10	9,9	0,04	9,9	0,04	10,0	0,04	10,0	0,04	10,0
20	19,6	0,15	19,9	0,15	19,9	0,15	20,0	0,15	20,0
31	30,2	0,34	30,7	0,34	30,8	0,34	30,9	0,35	30,9
50	47,6	0,82	48,8	0,84	49,3	0,86	49,6	0,86	49,7
100	67,4	3,71	74,9	4,59	80,0	5,34	83,7	5,76	86,2
250	70,2	4,56	80,3	6,21	83,9	6,99	88,7	7,95	96,2
500	71,0	4,84	81,2	6,54	85,0	7,38	90,2	8,46	98,3
1000	71,1	4,88	81,8	6,78	85,6	7,59	91,1	8,80	99,6
2500	71,4	4,99	82,3	6,95	86,3	7,84	91,9	9,14	100,9
5000	71,9	5,19	82,7	7,15	86,8	8,08	92,4	9,33	101,7
10000	72,0	5,25	83,1	7,28	87,2	8,21	93,1	9,60	102,4

dr. hoogte	0,060	0,040	0,030	0,020	0,015	0,010	0,005	0,001	0,000
0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
10	10,0	0,04	10,0	0,04	10,0	0,04	10,0	0,04	10,0
20	20,0	0,15	20,0	0,15	20,0	0,15	20,0	0,15	20,0
31	31,0	0,35	31,0	0,35	31,0	0,35	31,0	0,35	31,0
50	49,8	0,87	49,9	0,87	49,9	0,87	50,0	0,87	50,0
100	92,6	7,04	94,6	7,34	95,7	7,50	97,0	7,69	97,7
250	124,6	16,60	136,4	19,84	145,4	22,37	158,6	26,16	168,2
500	131,6	19,06	146,7	23,51	158,8	27,18	178,2	33,14	193,6
1000	135,6	20,54	152,6	25,74	166,7	30,15	189,9	37,57	209,1
2500	139,6	22,11	158,6	28,08	174,8	33,28	201,9	42,25	225,1
5000	142,4	23,24	162,9	29,80	180,5	35,56	210,5	45,67	236,5
10000	145,1	24,32	166,8	31,39	185,7	37,68	218,3	48,86	246,9

Tabel 4: Stijghoogtes en verzadigingstekorten van rookgasontzwevelingsgips van een proefopslag bij de kolencentrale te Weurt.
Diepte: 70-90 cm

h (cm)	0	10	20	31	50	100	250	500	1000	2500	5000	10000	16000
K (cm/dag)	140,00	36,00	18,00	9,50	4,00	2,0E-1	2,5E-3	1,2E-3	4,1E-4	1,4E-4	5,5E-5	2,4E-5	1,6E-5
θ (m ³ /m ³)	0,420	0,408	0,400	0,390	0,370	0,160	0,085	0,065	0,045	0,035	0,030	0,025	0,020

De relatie tussen de drukhoogte (cm) aan de bovenkant van de ondergrond, de grondwaterstandsdiepte beneden de wortelzone (eerste kolom, in cm) en het verzadigingstekort (tweede kolom, in cm) van de ondergrond voor 18 constante fluxen (cm/dag),

dr. hoogte	0,000	0,500	0,400	0,300	0,200	0,150	0,125	0,100	0,080
0	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0
10	9,8	0,06	9,9	0,06	10,0	0,06	10,0	0,06	10,0
20	19,4	0,21	19,7	0,22	19,9	0,22	19,9	0,22	20,0
31	29,6	0,47	30,3	0,48	30,7	0,49	30,8	0,49	30,9
50	45,8	1,11	47,8	1,18	49,1	1,23	49,4	1,28	49,6
100	67,7	4,48	77,0	5,69	87,0	7,11	89,4	7,70	93,6
250	72,3	5,82	85,7	8,29	90,2	9,20	96,3	10,44	127,5
500	73,0	6,07	86,7	8,60	91,3	9,57	97,7	10,94	132,7
1000	73,2	6,15	87,3	8,83	92,2	9,90	98,9	11,37	137,0
2500	73,9	6,40	88,1	9,13	93,1	10,25	100,1	11,81	141,3
5000	74,1	6,47	88,5	9,29	93,6	10,46	100,8	12,09	144,0
10000	74,2	6,52	89,1	9,50	94,1	10,66	101,3	12,31	146,2

dr. hoogte	0,060	0,040	0,030	0,020	0,015	0,010	0,005	0,001	0,000
0	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0
10	10,0	0,06	10,0	0,06	10,0	0,06	10,0	0,06	10,0
20	20,0	0,22	20,0	0,22	20,0	0,22	20,0	0,22	20,0
31	30,9	0,49	30,9	0,49	31,0	0,49	31,0	0,49	31,0
50	49,7	1,24	49,8	1,25	49,9	1,25	50,0	1,25	50,0
100	95,0	8,23	96,5	8,46	97,3	8,64	98,2	8,75	99,9
250	135,1	20,17	146,2	23,19	154,3	25,61	166,1	28,95	235,7
500	142,0	22,55	156,4	26,70	167,7	30,22	185,6	35,67	391,4
1000	147,7	24,61	164,8	29,80	178,9	34,32	202,2	41,75	591,2
2500	153,4	26,80	173,5	33,07	190,4	38,68	219,4	48,27	869,1
5000	157,0	28,19	178,8	35,16	197,6	41,45	230,1	52,43	1066,5
10000	160,0	29,36	183,3	36,90	203,5	43,78	239,0	55,92	1238,3

LITERATUUR

- Bolt, N., en A. Snel, 1986. Opslag van kolenreststoffen. Milieu- en veiligheidsrisico's van afvalberging. Afvalbeheer 6/7/86: 32-37.
- Verlinden, H.L., en J. Bouma, 1983. Bodemfysische onderzoeksmethoden voor de onverzadigde zone. 's-Gravenhage, Min. v. VROM. VOMIL rapport nr. B0 22.
- Weiser, H.B., W.O. Milligan and W.C. Eckholm, 1936. The mechanism of the dehydration of calcium sulphate hemihydrate. Journ. Amer. Chem. Soc. vol. 58, p. 1261.
- Wösten, J.H.M., 1985. Bepaling van de K-h en O-h relatie aan vliegias. Wageningen, STIBOKA. Rapport nr. 1917.