

BODEM EN WATER

1.1	Bodemkundige indeling	8
1.1.1	Korrelgrootteklassen en -verdelingen	8
1.1.2	Indeling naar organischestofgehalte	10
1.1.3	Dichtheid van de grond	11
1.2	Draagkracht van graslandgronden	12
1.2.1	Verbetering van draagkracht	12
1.3	Verdamping	14
1.4	Neerslag	17
1.5	Bodemvocht	18
1.6	Grondwaterstanden	21
1.6.1	Waterbergend vermogen	22
1.6.2	Verdroging	23
1.7	Beregening	23
1.7.1	Bodemvocht en plantengroei	24
1.7.2	Beregening op maat	26
1.8	Zoutgehalte van water	30
1.9	Slootontwatering en onderbemaling	31



In de paragrafen 1.1 en 1.2 van dit hoofdstuk wordt informatie gegeven om percelen in te delen in de juiste bodemkundige indeling, zoals die wordt gebruikt bij de bodemkaarten van Alterra. Kennis van de juiste bodemkundige indeling van percelen is nodig om goede adviezen te krijgen voor onder andere bemesting, beregening en behoud en/of verbetering van bodemstructuur. Vanaf paragraaf 1.3 is er aandacht voor water, waarbij de nadruk ligt op de hydrologie van de bodem. In paragraaf 1.7 wordt uitgelegd hoe economisch optimaal beregend kan worden.

1.1 BODEMKUNDIGE INDELING

Grond bestaat uit vaste delen en poriën (holtes). De poriën zijn gevuld met water, met lucht of met beide. In het laatste geval zegt men dat de grond een driefasig systeem vormt. Hierin zijn een vaste, een vloeibare en een gasvormige fase te onderscheiden. Voor de groei van bijna alle gewassen is de aanwezigheid van deze drie fasen noodzakelijk. Veel informatie in deze paragraaf is ontleend aan W. Locher en H. de Bakker (1990): *Bodemnatuurkunde*, uit: *Bodemkunde van Nederland, deel 1, Algemene bodemkunde*.

1.1.1 Korrelgrootteklassen en -verdelingen

Korrelgrootteklassen

De indeling en benaming van grond berust op de samenstelling van de vaste bodemdelen. De vaste bodemdelen bestaan uit minerale delen en organische stof. Voor deze deeltjes wordt zowel de term 'fractie' (zandfractie) als de term 'deel' (zanddeel) gebruikt. In verband met een andere betekenis van fractie (gehalte, deel per geheel met een getalwaarde tussen 0 en 1) wordt bij de benaming van de korrelgrootteklassen bij voorkeur de term 'deel' gebruikt. Veel eigenschappen van grond hangen samen met de korrelgrootte, zoals slempgevoeligheid door het lutumgehalte, stuifgevoeligheid door zandgrofheid en grindgehalte en vochtleverend vermogen door textuur. De grenzen en de namen voor de diverse korrelgrootteklassen zijn niet gestandaardiseerd. De indeling die Alterra gebruikt, is de meest gebruikte in Nederland.

Bij deze indeling horen de volgende korrelgrootteklassen:

- Lutumdeel: minerale deeltjes < 2 μm (< 0,002 mm).
- Siltdeel: minerale deeltjes tussen 2 - 50 μm (0,002 - 0,05 mm).
- Zanddeel: minerale deeltjes tussen 50 - 2000 μm (0,05 - 2 mm).

De korrelgrootteklasse groter dan 2.000 μm (2 mm) wordt grind genoemd. In figuur 1.1 zijn enkele begrippen toegelicht.

Leem		Zand					Grind	
Slib								
Sloef		Fijn zand			Grof zand			
Lutum	Silt	Uiterst fijn zand	Zeer fijn zand	Matig fijn zand	Matig grof zand	Zeer grof zand		
0	2	16	50	105	150	210	420	2000 μm

Figuur 1.1 Namen van bestanddelen van grond op basis van korrelgrootte.

Diverse laboratoria in Nederland bepalen het gehalte aan lutum. Voorheen werd het gehalte aan afslibbare delen (0 - 16 µm) bepaald. In de praktijk heette dit slib of afslibbaar. Als vuistregel geldt dat ongeveer tweederde deel van het afslibbare deel uit lutum bestaat.

Korrelgrootteverdelingen

Voor de korrelgrootteverdeling wordt nagegaan welk aandeel van de minerale deeltjes kleiner dan 2.000 µm (= 2 mm) in de verschillende korrelgrootteklassen aanwezig is. Zo wordt bekeken hoeveel deeltjes (uitgedrukt in gewichtsprocenten van de minerale deeltjes onder 2 mm) van een bodem in de klasse lutum, silt en zand vallen. Het eventueel aanwezige kalk blijft buiten beschouwing.

De korrelgrootteverdeling bepaalt de textuur of textuurklasse van de bodem. Vooral de kleinste deeltjes zijn hierbij bepalend. Dit vormt binnen een grondsoort de grondsoortgroep. Er is onderscheid tussen water- en windafzettingen. Als het gaat om waterafzettingen, wordt het lutumgehalte gehanteerd als basis voor de indeling. Bij windafzettingen is dit het leemgehalte: lutumgehalte plus siltgehalte. Tabel 1.1 en 1.2 geven aan welke gewichtsprocenten en benamingen in deze indeling worden gebruikt.

Tabel 1.1 Textuurindeling naar lutumgehalte (in procenten; waterafzettingen)

Lutum	Naam	Samenvattende naam
0 - 5	Klei-arm ¹ zand	} Zand ²
5 - 8	Kleiig ¹ zand	
8 - 12	Zeer lichte zavel	} Lichte zavel
12 - 17,5	Matig lichte zavel	
17,5 - 25	Zware zavel	
		} Zavel
25 - 35	Lichte klei	} Zware klei
35 - 50	Matig zware klei	
50 - 100	Zeer zware klei	
		} Klei

¹ Zie voor de indeling in grof of fijn zand tabel 1.3.

² Tevens moet het zandgehalte > 50 procent (50 - 2.000 µm) zijn.

Tabel 1.2 Textuurindeling naar het leemgehalte (in procenten; windafzettingen)

Leem	Naam	Samenvattende naam
0 - 10	Leemarm ¹ zand	} Lemig zand
10 - 17,5	Zwak lemig ¹ zand	
17,5 - 32,5	Sterk lemig ¹ zand	
32,5 - 50	Zeer sterk lemig ¹ zand	
		} Zand ²
50 - 85	Zandige leem ¹	} Leem
85 - 100	Siltige leem	

¹ Zie voor de indeling in grof of fijn zand tabel 1.3, ² Tevens minder dan 8 procent lutum.

Indeling in grof of fijn zand

Wanneer een bodem een korrelgrootteverdeling heeft die tot de textuurklasse zand hoort (tabel 1.1 en 1.2), vindt er een verdere onderverdeling plaats naar grof en fijn zand (zandgrofheid). De zandgrofheid wordt bepaald door de verdeling van de korrelgrootte over de klasse. Hiervoor maakt men gebruik van de zogenoemde mediaan (zie tabel 1.3). De mediaan is de korrelgrootte waarbij de helft (in gewicht) van de zandkorrels onder en de helft (in gewicht) van de zandkorrels boven zitten.

Tabel 1.3 Indeling en benaming van zand naar de mediaan van het zanddeel

Mediaan tussen μm	Benaming	Samenvattende naam
50 en 105	Uiterst fijn zand	} Fijn zand
105 en 150	Zeer fijn zand	
150 en 210	Matig fijn zand	} Grof zand
210 en 420	Matig grof zand	
420 en 1.000	Zeer grof zand	

1.1.2 Indeling naar organischestofgehalte

De indeling en benaming van grond naar het organischestofgehalte (humositeit) berust op het gewichtsperscentage organische stof op de stoofdrome grond (humusgehalte) en op het lutumgehalte, berekend op de minerale delen (zie tabel 1.4). Het lutumgehalte wordt betrokken bij de indeling omdat in het veld bij eenzelfde organischestofgehalte zand veel humeuzer wordt bevonden dan klei.

Tabel 1.4 Benaming van gronden naar massapercentage organische stof en lutum

Percentage organische stof bij: Benaming	Lutumgehalte					
	0% Lutum Zand	10% Lutum Lichte zavel	20% Lutum Zware zavel	30% Lutum Lichte klei	45% Lutum Zware klei	
Humusarm ¹	0 - 1,5	0 - 2	0 - 2	0 - 2,5	0 - 2,5	
Matig humusarm ¹	1,5 - 2,5	2 - 3	2 - 3	2,5 - 3,5	2,5 - 4	
Matig humeus ¹	2,5 - 5	3 - 6	3 - 6	3,5 - 7	4 - 8	Mineraal ³
Zeer humeus ¹	5 - 8	6 - 9	6 - 10	7 - 11	8 - 13	
Humusrijk ¹	8 - 15	9 - 18	10 - 20	11 - 22	13 - 25	
Venig zand ²	15 - 22,5	-	-	-	-	
Venige klei ²	-	18 - 27	20 - 32	22 - 35	25 - 40	
Zandig veen ²	22,5 - 35	-	-	-	-	Moerig ³
Kleilig veen ²	-	27 - 55	32 - 60	35 - 70	> 40	
Veen ²	> 35	> 55	> 60	> 70	-	

¹ Wordt nader onderverdeeld op basis van het gewichtsperscentage lutum of leem.

Humusarm is de samenvattende naam voor:

- Uiterst humusarm: 0,0 - 0,75 procent organische stof (bij 0 procent lutum).
- Zeer humusarm: 0,75 - 1,5 procent organische stof (bij 0 procent lutum).
- Matig humusarm: 1,5 - 2,5 procent organische stof (bij 0 procent lutum).

² Geen verdere onderverdeling op basis van het gewichtsperscentage lutum of leem. De benaming voor moerig bodemmateriaal volgt direct uit de tabel.

³ Mineraal en moerig zijn samenvattende namen voor materiaal uit de aangegeven klassen. Minerale of moerige horizonten (lagen) zijn horizonten die uit materiaal van de aangegeven klassen bestaan. Minerale gronden zijn gronden die tussen 0 en 80 cm diepte voor minder dan de helft van de dikte uit moerig materiaal bestaan. Moerige gronden bestaan hier voor meer dan de helft uit.

Afhankelijk van het gewichtsperscentage organische stof en lutum wordt bodemmateriaal eerst ingedeeld in moerig of mineraal (tabel 1.4). De verdere indeling van moerig materiaal naar textuur volgt direct uit de tabel. Bij zeer hoge organische stofgehalten vindt geen onderverdeling plaats naar textuur. Deze gronden worden enkel aangeduid als 'veen'. Mineraal bodemmateriaal is verder in te delen naar het lutumgehalte (waterafzettingen, zie tabel 1.1) of naar het leemgehalte (windafzettingen, zie tabel 1.2). Alle zanden en zandige leem worden verder ingedeeld naar zandgrofheid (figuur 1.1), ongeacht of het een wind- of een waterafzetting betreft.

1.1.3 Dichtheid van de grond

De dichtheid van stoofdrome grond (ρ_d) is de massa van grond die bij 105°C is gedroogd, gedeeld door het volume van de grond bij bemonstering (voorheen volumegewicht respectievelijk soortelijk gewicht genoemd). De dichtheid van de grond neemt af als het organische stofgehalte hoger wordt (zie tabel 1.5).

Tabel 1.5 Verband tussen gewichtsperscentage organische stof en dichtheid (ρ_d) van klei-, zand- en veengronden

Organische stof (%)	ρ_d (g/cm ³)	Organische stof (%)	ρ_d (g/cm ³)	Organische stof (%)	ρ_d (g/cm ³)
0 - 1	1,59	13 - 14	0,93	26 - 28	0,65
1 - 2	1,52	14 - 15	0,90	28 - 30	0,62
2 - 3	1,45	15 - 16	0,87	30 - 32	0,60
3 - 4	1,39	16 - 17	0,84	32 - 34	0,58
4 - 5	1,34	17 - 18	0,81	34 - 36	0,56
5 - 6	1,29	18 - 19	0,79	36 - 38	0,54
6 - 7	1,24	19 - 20	0,77	38 - 40	0,52
7 - 8	1,18	20 - 21	0,75	40 - 42	0,50
8 - 9	1,13	21 - 22	0,73	42 - 44	0,49
9 - 10	1,09	22 - 23	0,71	44 - 46	0,47
10 - 11	1,05	23 - 24	0,70	46 - 48	0,46
11 - 12	1,01	24 - 25	0,69	48 - 50	0,44
12 - 13	0,96	25 - 26	0,67	-	-

Horizonten

De lagen die in een doorsnede van de bodem (bodemprofiel) waar te nemen zijn, heten horizonten. Ze verschillen van elkaar in structuur en consistentie. Deze verschillen zijn vaak een gevolg van veranderingen in de afzetting, die bij de bodemvorming zijn ontstaan.

Om verschillende gronden op een uniforme wijze te beschrijven, krijgen min of meer overeenkomstige bodemhorizonten een vaste letter- en cijfercombinatie. Een voorbeeld zijn de horizontcodes en -benamingen bij de profielbeschrijvingen in de Bodemkaart van Nederland 1 : 50.000. In 1989 is een nieuwe benaming ingevoerd.

1.2 DRAAGKRACHT VAN GRASLANDGRONDEN

De draagkracht van grasland is van grote betekenis voor de intensivering van en mechanisatie op veehouderijbedrijven. Onder draagkracht of draagvermogen van een grond wordt de weerstand verstaan die de toplaag kan bieden aan een uitgeoefende druk, zonder insporing of vervorming te ondergaan. Deze paragraaf behandelt de factoren die de draagkracht van graslandgronden bepalen en de mogelijkheden om deze draagkracht te verbeteren.

Grasland moet bestand zijn tegen vertrapping bij beweiden en mechanische vervorming bij berijden. Behalve een bepaald luchtgehalte voor voldoende diffusiemogelijkheden is hiervoor een zekere draagkracht van de toplaag vereist. De draagkracht kan worden gerelateerd aan de indringingsweerstand. De draagkracht is ruim voldoende bij een indringingsweerstand $> 0,7 \text{ MPa}$ ($> 7 \text{ kg/cm}^2$) en geheel onvoldoende bij een indringingsweerstand $< 0,5 \text{ MPa}$ ($< 5 \text{ kg/cm}^2$), te meten in natte perioden.

Drie factoren die de draagkracht van de bodem bepalen, zijn:

- 1 Drukhoogte (h) en vochtspanning (pF) in de bovenste centimeters van de bodem. In het algemeen is de draagkracht onvoldoende bij een drukhoogte h: -50 tot -30 cm of hoger (pF: 1,6 tot 1,4 of lager). Naarmate de vochtspanning negatiever wordt, neemt de draagkracht toe. De vochtspanning is afhankelijk van de grondwaterdiepte, de ontwateringsdiepte en van het verdampings- of neerslagoverschot. Naar gelang de dichtheid van de toplaag groter is, volstaan lagere vochtspanningen voor het behoud van voldoende draagkracht.
- 2 Dichtheid van de toplaag. Zodenlagen met een organischestofgehalte < 8 procent zijn in het algemeen dicht genoeg om ook bij hoge drukhoogten voldoende draagkrachtig te zijn.
- 3 De grasmat. Een grasmat geeft extra draagkracht aan een grond. Naarmate bij intensivering een verschuiving optreedt van zodenvormende naar pollenvormende grassen (Engels raaigras), neemt de draagkracht in natte perioden af.

1.2.1 Verbetering van draagkracht

Manieren om de draagkracht van grasland te verbeteren, zijn verlaging van het organischestofgehalte en verbetering van de ontwatering.

Organischestofgehalte verlagen

Vooral bij een ondiepe ontwatering kan verlaging van het organischestofgehalte in een venige toplaag de draagkracht aanzienlijk versterken. Geschikte bewerkingen hiervoor zijn diepploegen, mengwoelen en bezanding, zoals hierna voor enkele grondsoorten is weergegeven. Let op: verlaging van het organischestofgehalte van de bodem verlaagt ook de stikstoflevering van de bodem. Het is dus verstandig een goede afweging te maken tussen verhoging draagkracht en op peil houden van stikstoflevering.

Ondiepe veengronden en humeuze tot venige zandgronden: verlaag bij een diepte van de zandondergrond van 20 tot 80 cm beneden maaiveld (-mv) het organischestofgehalte tot < 8 procent door kerend te diepploegen of te mengwoelen. De gewenste diepte van ploegen bedraagt ongeveer 1,5 maal de dikte van de humeuze respectievelijk venige laag, inclusief gliede. Gliede is de schoensmeerachtige humussubstantie in de onderste zone van het veenpakket. Diepploegen wordt meestal toegepast in combinatie met het dichten van sloten. In andere gaat de voorkeur uit naar mengwoelen (lagere kosten).

Diepere veengronden: bezand deze gronden bij een zanddiepte van 80 tot 200 cm-mv en een vlakke ligging van het maaiveld (geen egalisatiebehoefte) met de grondvijzel. Dikte van het zanddek: 7 - 10 cm. Het zand mag niet met de oude zodenlaag worden gemengd. Bezand alleen als de ontwateringssituatie bijzonder ongunstig is. Landbouwkundig gezien genieten peilverlaging en de aanleg van drainage de voorkeur vanwege de lagere kosten. Bezanden kan een alternatief zijn wanneer drainage ongewenst is.



Mengwoelen verlaagt het organischestofgehalte op 20 - 80 cm diepte. Dit verhoogt de draagkracht op ondiepe veengronden en humeuze tot venige zandgronden.

Ontwatering verbeteren

Als norm voor de ontwateringsintensiteit geldt dat de grondwaterstand gemiddeld slechts één dag per jaar ondieper is dan 15 cm -mv voor blijvend grasland, en 25 cm -mv voor snijmaïs. Door een juiste keuze van de drain- of slootafstand wordt in de meeste gronden de gewenste ontwateringsintensiteit bereikt. Vervang greppels zo mogelijk altijd door drainage.

1.3 VERDAMPING

Voor een goede groei van gewassen is een optimale vochtvoorziening noodzakelijk. De opbrengst van een gewas verloopt ruwweg rechtevenredig met de hoeveelheid water die het gewas verdampt. Deze hoeveelheid water is afhankelijk van klimatologische omstandigheden en de mate waarin het vochtleverend vermogen van de grond aan de (door de klimatologische factoren bepaalde) potentiële verdampingsvraag kan voldoen. Om de maximale opbrengst te verkrijgen moet de hoeveelheid vocht die de grond kan leveren, minstens gelijk zijn aan het verschil tussen de totale potentiële verdamping en de neerslag.

Door de grote verschillen in de hoeveelheid neerslag verschilt het potentiële vochttekort van jaar tot jaar. Meestal geldt daarom als norm een jaar waarin het neerslagtekort - dus verdampingoverschot - tussen 1 april en 30 september zo groot is dat dit slechts eenmaal per tien jaar voorkomt: het zogenoemde 10%-droogtejaar. De verdampingsoverschotten voor gras en voor maïs bij verschillende overschrijdingskansen staan in tabel 1.8 en 1.9. Om verwarring over de terminologie te voorkomen worden eerst enige begrippen verklaard. De hiernavolgende begrippen zijn ontleend aan de *Verklarende hydrologische woordenlijst* (Commissie voor Hydrologisch Onderzoek TNO, 1986).

Begrippenlijst bij verdamping

- *Transpiratie of plantverdamping (E_t)*: verdamping van een droog bladoppervlak van planten.
- *Interceptiewater*: deel van de neerslag dat door de bovengrondse plantendelen wordt vastgehouden.
- *Evaporatie van interceptiewater (E_i)*: verdamping van interceptiewater.
- *Bodemevaporatie (E_s)*: verdamping vanuit de bodem.
- *Evaporatie*: verdamping van interceptiewater en verdamping vanuit de bodem: $E_i + E_s$.
- *Evapotranspiratie of werkelijke verdamping (E)*: som van de transpiratie en de evaporatie van een begroeid oppervlak: $E = E_t + E_i + E_s$.
- *Potentiële transpiratie of potentiële plantverdamping (E_{tp})*: theoretische transpiratie van planten die voldoende van water zijn voorzien.
- *Potentiële bodemevaporatie (E_{sp})*: theoretische bodemverdamping van een bodem die voldoende van water is voorzien.
- *Potentiële evapotranspiratie of potentiële verdamping (E_p)*: som van de potentiële transpiratie en de potentiële bodemevaporatie: $E_p = E_{tp} + E_{sp}$. Voor gras en maïs gelden voor het groeiseizoen gemiddelde waarden van respectievelijk 447 en 416 mm.
- *Open-watervedamping (E_o)*: theoretische verdamping die zou optreden bij een oneindig uitgestrekt, ondiep glad wateroppervlak, zonder dat opslag van energie optreedt.
- *Referentie-gewasverdamping (E_r)*: potentiële verdamping van een theoretisch referentiegewas. De referentie-gewasverdamping geldt voor een goed van water voorzien, kort grasgewas en bedraagt ongeveer 0,8 x de open-watervedamping (E_o). Tabel 1.6 geeft waarden voor de E_r zoals die zijn berekend uit de open-watervedamping. Op basis van de referentie-gewasverdamping is een globale schatting te maken van de potentiële verdamping in het zomerhalfjaar met de formule: $E_p = f \times E_r$. Tabel 1.7 geeft de gewasfactoren (f) per decade voor gras en maïs, gerelateerd aan de referentie-gewasverdamping (E). De gewasfactor verschilt per gewas en is tevens afhankelijk van het groeistadium.

Tabel 1.6 Referentie-gewasverdamping (Er) gemiddeld per maand en per jaar in mm van vijf KNMI-stations over het klimatologische tijdvak 1971 - 2000 (de gemiddelde verdamping per maand en per dag is hieruit berekend)

Station	Maanden												Jaarsom
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
De Kooy	8,2	16,8	34,6	58,8	89,6	95,6	98,9	85,5	51,0	27,2	11,0	6,3	583,5
Eelde	7,2	14,7	30,2	53,5	81,7	86,0	90,3	79,2	47,6	25,5	10,3	5,6	531,8
De Bilt	7,9	15,9	31,4	54,5	82,9	86,7	91,5	80,2	48,2	27,1	11,0	6,2	544,6
Vlissingen	9,5	18,0	35,5	59,1	86,9	94,6	100,5	87,4	53,9	30,3	12,9	7,3	595,9
Maastricht	8,8	16,9	32,9	55,9	84,2	88,1	94,3	83,2	50,6	29,1	12,2	6,9	563,1
Gemiddeld/mnd	8,3	16,5	32,9	56,4	85,1	90,2	95,1	83,1	50,3	27,8	11,5	6,5	563,8
Gemiddelde/dag	0,3	0,6	1,1	1,9	2,7	3,0	3,1	2,7	1,7	0,9	0,4	0,2	1,5

Tabel 1.7 Gewasfactoren (f) per decade² voor een aantal gewassen, gerelateerd aan de referentie-gewasverdamping (E)

Maand	Decade	Gras ¹	Maïs
April	I	1,0	-
	II	1,0	-
	III	1,0	-
Mei	I	1,0	0,5
	II	1,0	0,6
	III	1,0	0,8
Juni	I	1,0	0,9
	II	1,0	1,0
	III	1,0	1,2
Juli	I	1,0	1,3
	II	1,0	1,3
	III	1,0	1,2
Augustus	I	1,0	1,2
	II	1,0	1,2
	III	0,9	1,2
September	I	0,9	1,2
	II	0,9	1,2
	III	0,9	1,2

¹ Voor zeer lang gras (25 tot 35 cm) moet de gewasfactor uit de tabel nog eens worden vermenigvuldigd met 1,2. De potentiële bodemevaporatie komt overeen met 0,4 x de referentie-gewasverdamping (Er).

² Een decade is een periode van tien dagen.

Tabel 1.8 Verdampingsoverschotten voor De Bilt (mm) vanaf 1 april voor gras bij verschillende overschrijdingskansen (in procenten)

	Dagen vanaf 1 april	Overschrijdingskans (%)				
		1,5	10	20	50	90
April	10	26	18	12	0	-24
	20	49	28	21	5	-32
	30	62	43	36	9	-27
Mei	40	91	66	48	24	-27
	50	111	81	58	31	-20
	61	124	96	76	43	-19
Juni	71	130	114	94	63	-16
	81	152	128	106	77	-3
	91	169	139	123	82	-9
Juli	101	198	158	130	88	-9
	111	236	157	142	91	-16
	122	262	171	147	95	-2
Augustus	132	284	185	146	83	-3
	142	304	188	144	82	-17
	153	317	200	155	88	-39
September	163	338	219	145	60	-42
	173	346	197	145	60	-54
	183	360	195	141	49	-93

Bron: KNMI

Opmerkingen:

- 50 Procent overschrijdingskans betekent dat in 50 van de 100 jaar (dus gemiddeld vijf van de tien jaar) het verdampingsoverschot bijvoorbeeld 153 dagen na 1 april voor gras 88 mm of meer bedraagt.
- 10 Procent overschrijdingskans betekent dat in 10 van de 100 jaar (of één van de tien jaar) het verdampingsoverschot of neerslagtekort 153 dagen na 1 april voor gras 200 mm of meer bedraagt.
- Is het verdampingsoverschot negatief (-39), dan is er een neerslagoverschot (van 39 mm).

Tabel 1.9 Verdampingoverschotten voor De Bilt (mm) vanaf 21 april voor maïs bij diverse overschrijdingskansen

	Dagen vanaf 21 april	Overschrijdingskansen (%)				
		1,5	10	20	50	90
April	10	36	22	19	9	-16
Mei	20	64	47	37	22	-18
	30	87	63	56	26	-21
	41	107	83	71	43	-10
Juni	51	129	100	87	57	-16
	61	164	121	102	70	-3
	71	183	128	118	76	-3
Juli	81	211	135	119	91	9
	91	251	149	132	88	16
	102	258	165	140	89	5
Augustus	112	265	171	134	92	-12
	122	283	180	132	82	-10
	133	310	195	150	79	-37
September	143	340	214	138	68	-46
	153	360	199	130	57	-65
	163	375	199	130	59	-98

Bron:KNMI

1.4 NEERSLAG

De dagelijkse neerslag is te meten met een eenvoudige regenmeter, mits deze vrij staat opgesteld. De meter moet worden geplaatst op een afstand van een obstakel (gebouw, bomen, schuttingen) die groter is dan viermaal de obstakelhoogte. De meting moet 's morgens plaatsvinden. Men meet dan de neerslaghoeveelheid over het afgelopen etmaal. Deze neerslag moet dan ook aan de voorafgaande dag worden toegerekend (zie tabel 1.10).

Tabel 1.10 Neerslagcijfers (mm) gemiddeld per maand en per jaar per district en landelijk over een periode van dertig jaar (1971 - 2000)

District	Station	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Jaarsom
1	De Kooy	67	42	57	36	44	55	57	61	87	95	97	76	775
2	Leeuwarden	69	46	60	42	53	69	67	63	81	82	88	75	790
3	Eelde	70	47	62	44	58	73	73	58	71	72	79	76	781
4	Hoorn	69	46	64	40	49	64	63	66	76	92	88	82	798
5	Swifterbant	66	45	62	43	55	73	70	69	75	75	79	74	786
6	Twente VB	69	46	66	49	57	73	71	61	67	65	70	77	769
7	Hoofddorp	75	50	68	45	50	70	68	69	87	95	100	87	862
8	De Bilt	70	52	70	46	63	74	71	61	73	82	86	82	829
9	Winterswijk	67	47	66	47	63	80	70	58	71	65	69	78	781

District Station	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Jaarsom
10 Andel	68	50	69	47	63	71	69	60	68	72	78	77	792
11 Vlissingen	63	45	57	43	51	67	64	60	72	83	82	72	759
12 Oudenbosch	65	47	64	47	55	69	70	65	76	76	79	78	788
13 Eindhoven	69	52	68	46	65	70	66	59	66	65	76	76	779
14 Venlo	66	50	64	46	66	79	70	59	62	62	68	74	765
15 Beek (L)	60	53	62	47	64	74	71	60	61	63	66	72	752
<i>Landelijk gemiddelde</i>	<i>69</i>	<i>48</i>	<i>65</i>	<i>45</i>	<i>57</i>	<i>71</i>	<i>70</i>	<i>62</i>	<i>75</i>	<i>78</i>	<i>82</i>	<i>79</i>	<i>799</i>
<i>Gemiddeld per dag</i>	<i>2,2</i>	<i>1,7</i>	<i>2,1</i>	<i>1,5</i>	<i>1,8</i>	<i>2,4</i>	<i>2,3</i>	<i>2,0</i>	<i>2,5</i>	<i>2,5</i>	<i>2,7</i>	<i>2,5</i>	

Bron: KNMI

1.5 BODEMVOCHT

De term 'vocht' is in gebruik voor het water in de onverzadigde zone van de bodem. Met de term 'water' wordt het water in de verzadigde zone bedoeld (grondwater, water beneden de grondwaterspiegel). In onverzadigde grond zijn drie hoofdbestanddelen te onderscheiden: vaste delen, lucht en water. De lucht en het water bevinden zich in de poriën. Bij dit onderwerp worden enkele begrippen onderscheiden.

Vochtigheid van de grond

De vochtigheid van de grond wordt uitgedrukt in:

- Volumefractie: het volumeaandeel water in relatie tot het totale bodemvolume ofwel het vochtgehalte ($\text{m}^3 \text{ water} / \text{m}^3 \text{ grond}$). Volumepercentage water = volumefractie x 100.
- Watergetal (w): de massaverhouding water-vaste fase. Dit is de massa van de vloeibare fase, gedeeld door de massa van de vaste fase. Voor omrekening geldt: volumefractie = massaverhouding x ρ_d (dichtheid van de grond).

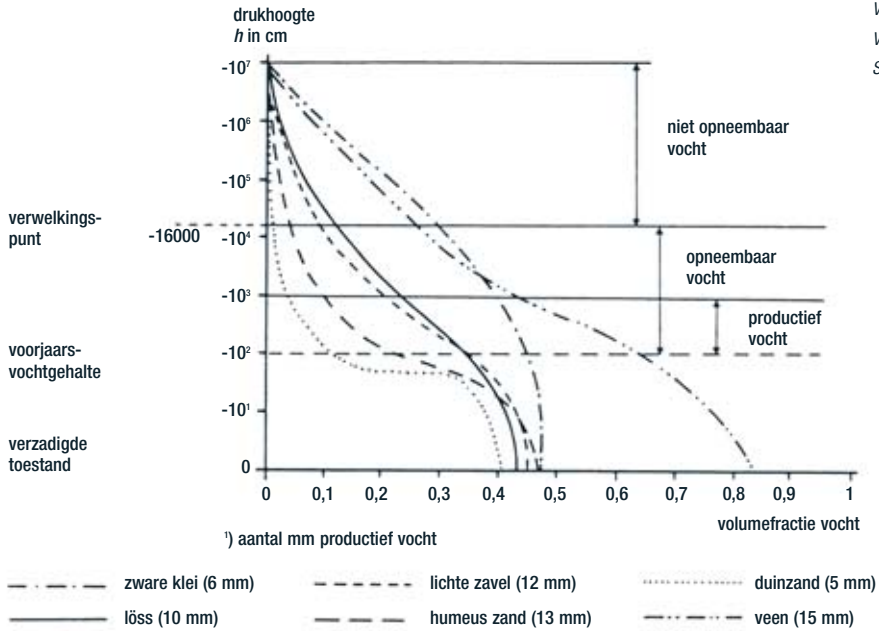
Energietoestand van bodemvocht

De energietoestand van het bodemvocht wordt uitgedrukt in drukhoogte h (in cm of m). De drukhoogte van het bodemvocht is een maat voor de uitdrogingstoestand van de grond. De drukhoogte geeft hierbij tevens de beschikbaarheid weer van het bodemvocht voor de plant (benodigde kracht voor vochtonttrekking uit de bodem) bij deze uitdrogingstoestand. In onverzadigde grond heeft h een negatieve waarde. Naarmate de grond droger wordt krijgt h een kleinere waarde. Ook de vochtspanning krijgt een kleinere waarde (negatiever) naarmate de grond uitdroogt.

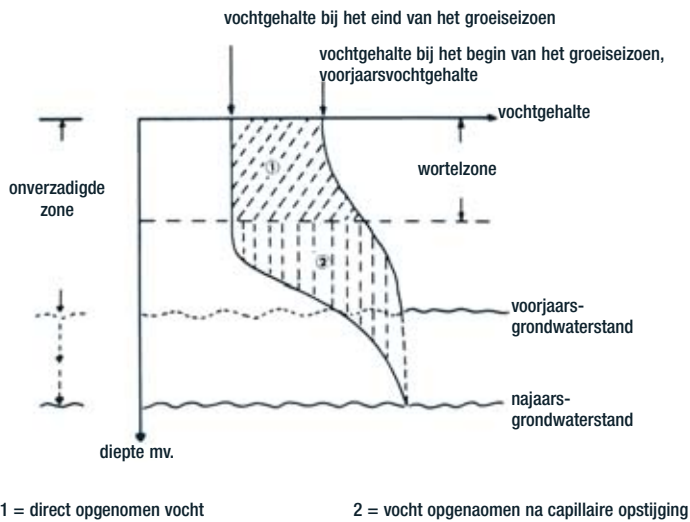
Vochtkarakteristiek

Het verband tussen de drukhoogte van het bodemvocht en het vochtgehalte in een grond is voor iedere grond verschillend. Bij eenzelfde energietoestand van het bodemvocht heeft iedere grondsoort zijn eigen vochtgehalte. Het verband tussen drukhoogte en vochtgehalte wordt daarom de vochtkarakteristiek van een grondmonster genoemd. In figuur 1.2 zijn voor zes grondsoorten de vochtkarakteristieken gegeven. In oudere literatuur wordt niet de drukhoogte weergegeven, maar de logaritme van een met een waterkolom overeenkomende zuigspanning, dus de onderdrukhoogte in plaats van drukhoogte. Deze werd p_f genoemd. Een

*Figuur 1.2
Vochtcharacteristieken
van monsters van zes
verschillende grond-
soorten*



*Figuur 1.3
Schematische weergave
van de uitdroging van
de bodem door vocht-
opname door een
gewas tijdens een droog
zomerseizoen
(Wesseling, 1976)*



drukhoogte van $h = -10^7$ cm komt dus overeen met pF 7, een h van -1 m ($= -10^2$ cm) met een pF 2, enzovoort. Wanneer in plaats van de drukhoogte h de grootheid pF wordt gebruikt, wordt de grafische weergave van de vocht karakteristiek aangeduid als pF-curve.

Veldcapaciteit

Na uitzakken van overvloedig regenwater bevat grond een zekere fractie water. Dit noemt men de veldcapaciteit. Dit begrip is niet met een eenduidige drukhoogte vast te leggen. Er wordt onderscheid gemaakt tussen gronden met hoge en gronden met lage grondwaterstanden. Bij hoge grondwaterstanden is, in een gemiddeld voorjaar, de drukhoogte overal in het profiel gelijk aan het tegengestelde van de hoogte boven de grondwaterspiegel. Er heerst hydrostatisch evenwicht: de drukhoogte is afhankelijk van de grondwaterstand.

Er wordt in deze situatie veelal uitgegaan van een grondwaterstanddiepte van 100 cm in het voorjaar, zodat de drukhoogte aan maaiveld -100 cm is, gelijk aan $pF = 2,0$. Door bij deze grondwaterstand uit te gaan van $pF = 2,0$ wordt de veldcapaciteit meer onderschat naarmate de wortelzone dikker is. Alleen de bovengrond is immers op $pF 2,0$ bij een grondwaterstand van 100 cm beneden maaiveld in het voorjaar. Dieper bevat de grond meer vocht, omdat de drukhoogte gaande naar de grondwaterspiegel toeneemt naar nul. Dan is $pF = 1,7$, $h = -50$ cm misschien een betere schatting. In het geval van lage grondwaterstanden, zoals die zich voordoen in hangwaterprofielen, neemt men op grond van praktijkervaring de volumefractie vocht die correspondeert met $pF = 2,3$, $h = -200$ cm.

Verwelkingspunt

Bij een drukhoogte van ongeveer -16.000 cm kunnen de planten nagenoeg geen water meer aan de grond onttrekken. Ze verwelken. De pF is dan 4,2. Deze toestand noemt men het verwelkingspunt. Het water dat zich tussen $pF = 2,0$ en $pF = 4,2$ bevindt, heet beschikbaar hangwater.

Gemakkelijk en moeilijk opneembaar vocht

Al voordat het verwelkingspunt is bereikt, kost het de planten met het afnemen van de drukhoogte steeds meer moeite om water op te nemen uit de bodem. Al veel eerder treden groei remmingen op (bij $pF = 2,6$ tot $pF = 3,0$). Het hangt af van de soort plant bij welke pF-waarde deze remmingen optreden. Voor gras vormt de drukhoogte -500 cm ($pF 2,7$) de waarde waarbij de vocht opname wordt bemoeilijkt en de verdamping afneemt. Voor granen geldt een waarde van -300 cm ($pF = 3,0$). Bodemvocht met lagere drukhoogten dan -10^{35} wordt tot het zeer moeilijk opneembare vocht gerekend. Er treedt dan zichtbare droogteschade op. Men spreekt in dit verband van gemakkelijk opneembaar of productief vocht en moeilijk opneembaar vocht. De hoeveelheid opneembaar vocht is voor de verschillende lagen van de effectieve wortelzone te berekenen met behulp van de vocht karakteristiek. Bijvoorbeeld uit het verschil tussen de volumefractie vocht bij $h = -100$ cm ($pF = 2,0$) en dat bij $h = -16.000$ cm of -160 m ($pF = 4,2$). Aantal mm vocht per 10 cm bodemlaag = de volumefractie vocht x 100.

In een profiel zonder grondwaterinvloed (voorjaarsgrondwaterstand $> 1,50$ m) bestaat de opneembare bodemvochtvoorraad uit:

- De hoeveelheid opneembaar vocht in de bewortelbare zone.
- De hoeveelheid vocht die voor de plant opneembaar is door capillaire nalevering van uit de lagen onder de bewortelbare zone.

Bij een bodemprofiel met grondwaterinvloed (voorjaarsgrondwaterstand < 1,50 m, grondwaterprofielen) bestaat de opneembare bodemvochtvoorraad uit:

De hoeveelheid vocht, die als gevolg van een bepaalde voorjaarsgrondwaterstand in de bewortelbare zone aanwezig is.

De hoeveelheid vocht, die voor de plant opneembaar is vanuit het grondwater en de capillaire nalevering vanuit de lagen tussen de onderkant van de bewortelbare zone en de grondwaterspiegel.

Figuur 1.3 geeft schematisch de hoeveelheid vocht weer die de bodem levert.

1.6 GRONDWATERSTANDEN

Onder invloed van de bodemopbouw, de relatieve hoogteligging, de geohydrologische situatie en het waterbeheer, verschilt de grondwaterstand en de hierin optredende fluctuatie van plaats tot plaats.

Grondwatertrappenindeling

Bodemkaarten verschaffen informatie over de grondwaterstand en de hierin optredende fluctuatie door middel van grondwatertrappen (Gt's). De informatie die in de bodemkaart ligt opgesloten, is van verschillende ouderdom. Vooral de informatie over de ontwateringstoestand (Gt) van zandgebieden is door later uitgevoerde ontwateringswerken vaak niet meer actueel. Dit geeft onder andere problemen bij de beoordeling van zandgronden op vochtleverend vermogen.

Grondwatertrappen zijn een combinatie van de gemiddeld hoogste (GHG) en de gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG). De GHG is bedoeld om de wintergrondwaterstand te karakteriseren. De GLG is een maat voor de grondwaterstand die in de zomer aan het eind van het groeiseizoen wordt verwacht. In 1988 is de grondwatertrappenindeling aangepast. De hoofdindeling (I t/m VII) is intact gebleven. Tabel 1.11 geeft een volledig overzicht van de nieuwe indeling. Tevens staat in deze tabel een vergelijking met de oude indeling. De informatie die met de nieuwe grondwatertrappen wordt gegeven, is te splitsen in kwantitatieve en kwalitatieve informatie.

Kwantitatieve informatie

De kwantitatieve informatie wordt aangeduid met letters achter het Romeinse cijfer. Bij de grondwatertrappen I t/m V wordt met de letters a, b, c en u de GHG als volgt onderverdeeld:

a = GHG ondieper dan 25 cm -mv.

b = GHG tussen 25 en 40 cm -mv. Deze toevoeging komt in de plaats van de * zoals die in de oude indeling bij GT II, III en V werd gehanteerd.

c = GHG en GLG komen nagenoeg op gelijke diepte voor.

u = GHG tussen 40 en 80 cm -mv. Deze onderscheiding is bij GT IV nodig als tegenhanger van de letter c (GHG dieper dan 80 cm -mv).

Bij de grondwatertrappen V t/m VII wordt het GLG-traject onderverdeeld met de letters o en d:

o = GLG tussen 120 en 180 cm -mv

d = GLG dieper dan 180 cm -mv.

Bij grondwatertrap V kunnen GHG- en GLG-toevoegingen gecombineerd voorkomen (bijvoorbeeld Vao, Vbd).

Kwalitatieve toevoegingen

b = buitendijkse gronden, periodiek overstroomd.

s = schijnspiegels. Het niveau van de GHG wordt bepaald door periodiek optredende grondwaterstanden boven een slecht doorlatende laag, waaronder weer een onverzadigde zone voorkomt. Alleen bij gronden met een grondwaterfluctuatie (GLG min GHG) van meer dan 120 cm.

w = water boven het maaiveld gedurende een aaneengesloten periode van meer dan één maand tijdens de winter. Alleen bij binnendijkse gronden.

1.6.1 Waterbergend vermogen

De fluctuatie van de grondwaterstand is mede afhankelijk van het waterbergend vermogen van de grond (zie tabel 1.12). Naarmate de grond meer neerslag kan bergen, zal de grondwaterstand minder snel stijgen tot een stand die nadelig is voor gewas of grond.

Tabel 1.11 Overzicht van de nieuwe grondwatertrappenindeling en een vergelijking hiervan met de oude indeling

Nieuwe Gt	GHG (cm-mv)	GLG (cm-mv)	Oude Gt	
I	-	< 50	I	
Ia	< 25	< 50	I	
Ic	> 25	< 50	I	
II	-	50 - 80	II	
IIa	< 25	50 - 80	II	
IIb	25 - 40	50 - 80	II*	
IIc	> 40	50 - 80	II*	
III	< 40	80 - 120	III	
IIIa	< 25	80 - 120	III	
IIIb	25 - 40	80 - 120	III*	
IV	> 40	80 - 120	IV	
IVu	40 - 80	80 - 120	IV	
IVc	> 80	80 - 120	IV	
V	< 40	> 120	V	
Va	< 25	> 120	V	
Vao	< 25	120 - 180	V	
Vad	< 25	> 180	V	
Vb	25 - 40	> 120	V*	
Vbo	25 - 40	120 - 180	V*	
Vbd	25 - 40	> 180	V*	
VI	40 - 80	> 120	VI	
Vlo	40 - 80	120 - 180	VI	
Vld	40 - 80	> 180	VI	
VII	80 - 140	> 120	VII	
VIIo	80 - 140	120 - 180	VII	
VIIId	80 - 140	> 180	VII	GHG= Gemiddeld hoogste grondwaterstand
VIII	> 140	> 120	VIII	GLG = Gemiddeld laagste grondwaterstand
VIIIo	> 140	120 - 180	VIII*	Gt = Grondwatertrap
VIIIId	> 140	> 180	VIII*	* = afwijkende GHG tov aanduiding zonder *

Tabel 1.12 Verlies waterbergend vermogen (mm) van enkele bodemprofielen (zandgronden) bij stijging van het grondwater van verschillende diepten tot maaiveld, zonder rekening te houden met afvoer

Stijging grondwaterstand (cm):	20 - 0	40 - 0	60 - 0	80 - 0	100 - 0	120 - 0	150 - 0
Bodemtypen met textuuromschrijving							
Broekerdgrond	6	18	34	51	73	-	-
Beekeerdgrond	5	15	31	51	74	96	-
Podzolgrond							
- Leemarm, matig fijn zand	15	40	77	118	150	183	259
- Lemig, matig tot zeer fijn zand	7	18	38	68	101	134	184
Enkeerdgrond	10	30	60	97	141	190	250

1.6.2 Verdroging

Door verbeterde drainage in de landbouw, versnelde afvoer van regenwater door toegenomen bebouwing en afvoer van regenwater naar riolering, grondwateronttrekking door industrie, waterzuivering, landbouw en door huishoudens, is de grondwaterspiegel in diverse gebieden te sterk gedaald. Landbouwgewassen en natuurgebieden zijn hierdoor gevoeliger geworden voor verdroging. Daarom wordt geprobeerd meer water in het gebied te houden via opvang van regenwater (voor diverse gebruikdoeleinden), tijdelijk het slootpeil in het voorjaar te verhogen en grondwater beperkt te gebruiken. Verder is 'beregenen op maat' van gewassen ontwikkeld, om het watergebruik te verminderen (zie paragraaf 1.7.2). Bij (tijdelijke) peilverhoging is het van belang een inschatting te maken van de gevolgen voor de landbouw en natuur. Met behulp het BedrijfsBegrotingsprogramma Rundveehouderij worden door Praktijkonderzoek ASG berekeningen uitgevoerd om inschattingen te maken.

1.7 BEREGENING

Beregening op bedrijfsniveau moet doelmatig worden ingezet om verspilling van water te voorkomen. Voor de niet-benutte hoeveelheid water worden namelijk wel kosten gemaakt. Afgezien van de kosten moet te veel watergebruik ook vanuit het oogpunt van de verdrogingsproblematiek worden voorkomen. Deze paragraaf gaat met name in op het bepalen van het juiste beregeningstijdstip en de beregeningsgift. Ook het te verwachten economisch effect van beregening is belangrijk.

Van belang is onderscheid te maken tussen de kosten op korte termijn (binnen een groeiseizoen) en de langetermijnkosten (aanschaf van een beregeningsinstallatie). Het rendement op de korte termijn wordt grotendeels bepaald door de variabele kosten (brandstof, stroomkosten en een variabel deel van afschrijving en onderhoud) en de kosten voor aankoop van een gelijke hoeveelheid ruwvoer (kVEM) zonder beregening. Het economisch rendement van beregening op de lange termijn is veel lastiger te bepalen. Het rendement van een dergelijke investering is erg afhankelijk van de bedrijfssituatie en van de weersomstandigheden gedurende de afschrijftermijn van de installatie.

Op een uitgesproken droogtegevoelige zandgrond is op jaarbasis een opbrengstverhoging mogelijk van 15 kg drogestof gras per mm beregening, op voorwaarde dat beregend wordt

volgens 'beregemen op maat' en dat bovendien beregening wordt uitgesteld bij hoge zomerse temperaturen. Beregening is rendabel wanneer snijmaïs duurder is dan € 32,- per ton (vers). Door beregening kan beweiding in droge perioden wel gemakkelijker rondgezet worden, omdat een weidesnede eerder wordt behaald en het grasaanbod wordt vergroot.

1.7.1 Bodemvocht en plantengroei

Bewortelingsdiepte, grondwaterstand en fysische eigenschappen van de grond bepalen het vochtleverend vermogen van de bodem. Hierbij wordt onderscheid gemaakt naar de hoeveelheid beschikbaar vocht in de wortelzone en de hoeveelheid vocht die via capillaire opstijging vanuit het grondwater naar de wortelzone wordt aangevoerd (tabel 1.13 en 1.14). Een tekort wordt aangevuld uit neerslag of met beregening. Het is mogelijk om uit te rekenen of een gewas nog voldoende vocht beschikbaar heeft (vochtbalans).

Hiervoor zijn de volgende gegevens nodig:

- De hoeveelheid beschikbaar vocht in de wortelzone.
- De hoeveelheid vocht uit neerslag.
- De hoeveelheid vocht die een gewas verdampt.
- De grootte van de capillaire opstijging van vocht uit het grondwater naar de wortelzone.

Soms blijkt uit een vochtbalans dat de som van de dagelijkse potentiële gewasverdamping groter wordt dan de som van de gemakkelijk beschikbare hoeveelheid bodemvocht + neerslag. Vul dan de vochtvoorraad aan met beregening, als op korte termijn geen natuurlijke neerslag wordt verwacht.

Beschikbaar vocht in de wortelzone

De hoeveelheid gemakkelijk opneembaar vocht (uitgedrukt in mm waterlaagje) is met de vochtkarakteristiek - afhankelijk van de bodemtextuur - te berekenen uit het verschil tussen de gemiddelde volumefractie vocht in de wortelzone in het voorjaar (veldcapaciteit) en de volumefractie vocht bij $pF = 2,7$. Vermenigvuldig dit verschil vervolgens met de effectieve worteldiepte (in dm).

Gemiddeld wordt de hoeveelheid bodemvocht beperkend bij $pF = 2,7$ en begint groeireductie op te treden. Bij een vochtspanning van $pF = 3,7$ staat de groei stil. Als dit een aantal weken duurt, kan gewassterfte optreden. Grassen als kweek kunnen dan concurreren met de betere grassoorten als Engels raaigras. Bij $pF = 4,2$ is geen vocht meer beschikbaar voor plantengroei. In tabel 1.13 zijn voor een groot aantal grondsoorten waarden gegeven voor de vochtinhoud en de gemakkelijk beschikbare hoeveelheid bodemvocht, afhankelijk van de pF .

Bewortelingsdiepte

Meet de bewortelingsdiepte bij voorkeur met behulp van een wortelboor of een kleine profielkuil. Het bepalen van de dikte van de wortelzone vereist een zeer nauwkeurige bestudering van de grond. Houd hierbij rekening met de mogelijkheid dat de bewortelingsdiepte binnen het bedrijf of binnen een perceel kan variëren. De effectieve wortelzone komt overeen met het profielgedeelte waarin zich meer dan 80 tot 90 procent van het totale aantal wortels bevindt. Beperkende factoren voor wortelgroei zijn zuurgraad, aëratie en indringingsweerstand. Voor grasland is de effectieve beworteldiepte veelal 20 tot 30 cm. Afgezien van de genoemde factoren beperkt ook een intensief gebruik van grasland (hoge N-bemesting, intensieve beweiding, hoog maaipercentage) de bewortelingsdiepte met 10 tot 15 cm.

Grasland van minder dan een jaar oud kan in vergelijking met oud grasland zeer diep wortelen. De beworteling is dan vergelijkbaar met een graangewas en kan onder gunstige omstandigheden meer dan één meter diep zijn. Bij bouwlandgewassen als maïs is de bewortelingsdiepte al gauw 60 tot 80 cm. Maar ook dit hangt sterk af van de zuurgraad, aëratie en indringingsweerstand. Onder ongunstige omstandigheden kan de bewortelingsdiepte beperkt blijven tot 35 cm. Voor de inschatting van het vochtleverend vermogen van de wortelzone bij maïs wordt gerekend met een beworteling van 30 cm bij 50 procent bodembedekking, oplopend naar maximaal 60 cm bij 100 procent bedekking, en maximaal 90 cm bij bloei.

Capillaire nalevering

Naast de hoeveelheid gemakkelijk opneembaar vocht in de wortelzone is de mate waarin capillaire nalevering vanuit de ondergrond optreedt van belang. De hoeveelheid capillaire nalevering is sterk afhankelijk van de grondwaterstand en de textuur. Soms wordt de maximale afstand overschreden waarover nog voldoende capillaire aanvoer naar de onderkant van de effectieve wortelzone mogelijk is (kritieke stijgafstand z). Dit leidt tot groeireductie. Een capillaire aanvoer naar de wortelzone van 1,0 tot 2,0 mm/dag wordt in het algemeen als voldoende beschouwd. Tabel 1.14 geeft een benadering voor de toelaatbare afstand tussen de onderkant van de effectieve wortelzone en de grondwaterstand (cm) voor stijgsnelheden van 3, 2, 1, 0,8 en 0,4 mm/dag.



Door een kuil te graven en te kijken hoever de witte wortels zitten, kan de bewortelingsdiepte van gras ingeschat worden.

Bodemtextuur

Kennis van de bodemtextuur is nodig om inzicht te krijgen in de vochtlevering vanuit de wortelzone en de mate waarin capillaire nalevering vanuit de ondergrond en het grondwater optreedt. Een deskundige kan de textuur van een bodem bepalen met een bodemkartering. Alterra heeft voor het uitvoeren van een bodeminventarisatie een protocol opgesteld, gebaseerd op de zogenoemde Staringreeks. De Staringreeks is ingedeeld in achttien bouwstenen voor zowel boven- als ondergrond. Hierbij komen bovengronden overeen met de diepte tot waar de meeste planten wortelen. Bovengronden worden gekenmerkt door een hoger organischestofgehalte en een lagere dichtheid dan de ondergronden. De bouwstenen zijn ingedeeld naar leemgehalte, lutumgehalte, mediaan van de zandfractie en organische stof.

Tabel 1.13 Vochtinhoud en hoeveelheid gemakkelijk opneembaar vocht in mm per 10 cm laagdikte voor verschillende bovengronden van de Staringreeks bij pF 2,0, 2,7 en 3,7

Grondsoort	Leem ¹ (%)	Lutum ¹ (%)	Organische stof ¹ (%)	Vochtinhoud (mm) bij pF			Gemakkelijk opneembaar vocht (mm) bij pF		
				2,0	2,7	3,7	2,0 - 2,7	2,7 - 3,7	2,0 - 3,7
Zand									
Leemarm zand	0 - 10	-	0 - 15	20	10	4	10	6	16
Zwak lemig zand	10 - 18	-	0 - 15	28	16	7	12	9	21
Sterk lemig zand	18 - 33	-	0 - 15	34	19	9	15	10	25
Zeersterk lemig zand	33 - 50	-	0 - 15	29	13	6	16	7	23
Zavel									
Zeer lichte zavel	-	8 - 12	0 - 15	32	22	14	10	8	18
Matig lichte zavel	-	12 - 18	0 - 15	33	23	13	10	10	20
Klei									
Lichte klei	-	25 - 35	0 - 15	38	32	19	6	13	19
Matig zware klei	-	35 - 50	0 - 15	44	34	22	10	12	22
Zeer zware klei	-	50 - 100	0 - 15	50	44	33	6	11	17
Moerig									
Zandig veen en veen	-	0 - 8	23 - 100	59	41	28	18	13	31
Kleiig veen	-	8 - 100	25 - 70	61	49	35	12	14	26

Bron: Alterra, 1987

¹ Indeling naar textuur in procenten van de minerale delen, organischestofgehalte in procenten van de stoofdrome grond.

1.7.2 Berekening op maat

Voor beregenen op maat is het nodig de actuele vochtinhoud van de wortelzone bij pF=2,7 te kunnen herkennen, bepalen of berekenen. Bij deze vochtspanning treedt gemiddeld groeireductie op. Wanneer de textuur en de bewortelingsdiepte bekend zijn, kan de actuele vochtinhoud op waarde worden geschat. Het is aan te bevelen de bodem nauwkeurig te laten inventariseren door een deskundige. Het blijkt echter niet eenvoudig te zijn om een juiste inschatting te maken van zowel de textuur van de grond als van de bewortelingsdiepte.

De actuele vochtinhoud van de bodem is op meerdere manieren in te schatten: door de grond met een gutsboor te bekijken en te kneden, door grond te drogen of door de vochtinhoud te berekenen met een vochtbalans. Een grondmonster drogen is een manier om direct de vochtinhoud te bepalen. Een magnetron kan hierbij goed dienst doen. Met deze methode is echter alleen op zandgrond ervaring opgedaan. In het verleden is veelvuldig gebruikgemaakt van tensiometers. Deze methode blijkt helaas niet bruikbaar voor de praktijk. Voor de beoordeling van de vochttoestand van de bodem heeft Praktijkonderzoek van ASG een beregeningswijzer in de vorm van een parkeerschijf ontwikkeld. Met dit hulpmiddel kan desgewenst ook een vochtbalans worden bijgehouden. Op de beregeningswijzer staat aangegeven hoe een vochtbepaling met de magnetron kan worden uitgevoerd.

Tabel 1.14 Benadering van de capillaire opstijging uit het grondwater

Ondergrond	Leem %	Lutum (%)	Verzadigde doorlatendheid (m/dg)	Toelaatbare afstand tussen onderkant effectieve wortelzone ¹ en grondwater (cm) voor capillaire naleving van:				
				3	2	1	0,8	0,4 mm/dag
Zand								
Grof zand	2 - 6	-	2,23	43	47	54	56	65
Leemarm fijn zand	1 - 9	-	1,0	76	84	98	103	119
Zwak lemig fijn zand	10 - 16	-	0,64	99	109	127	133	152
Sterk lemig fijn zand	21 - 32	-	0,45	105	122	152	161	189
Zeer sterk lemig fijn zand	37 - 47	-	0,53	134	150	176	184	207
Leem								
Keileem	29 - 48	-	0,05	29	37	57	64	93
Siltige leem (löss)	88 - 92	-	0,57	105	125	161	172	201
Zavel								
Zeer lichte zavel	-	9 - 11	0,26	84	97	120	127	151
Matig lichte zavel	-	12 - 16	0,24	69	84	113	123	156
Zware zavel	-	18 - 22	0,26	56	70	100	110	145
Klei								
Lichte klei	-	28 - 33	0,61	39	50	73	81	112
Matige zware klei	-	37 - 47	0,10	18	24	38	43	65
Zware klei	-	52 - 77	0,38	16	19	26	29	41
Veen								
Oligotroof veen	-	-	0,15	34	42	59	66	90
Meso- en eutroof veen	-	-	0,30	52	63	85	93	122

Bron: Alterra (Staringreeks) 1987

¹ Wortelzone uitgedroogd tot $h = -250$ cm ($pF = 2,4$)

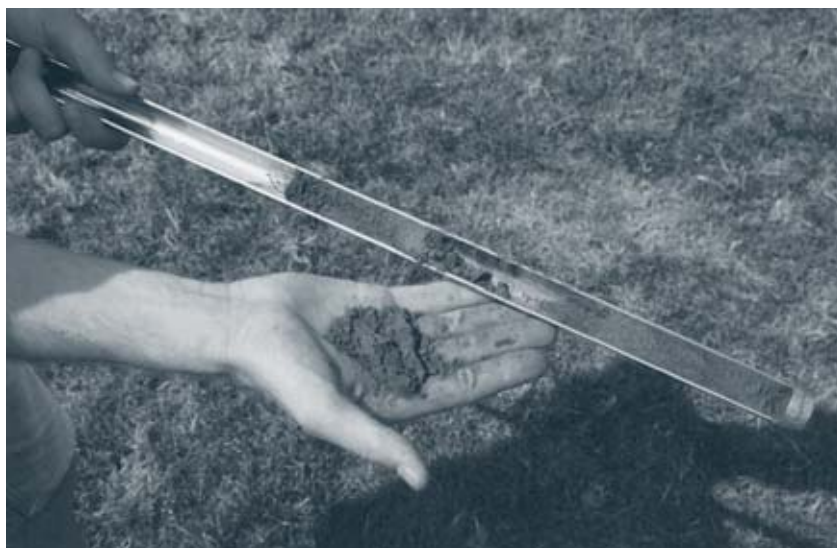
Opmerking: de hier gegeven waarde voor enkele gronden zijn bedoeld ter oriëntatie. Hierbij mag geen gelaagdheid in de ondergrond voorkomen. Het moeten dus homogene, ongestoorde ondergronden zijn.

Visuele beoordeling van de vochttoestand

Werken met een gutsboor geeft in korte tijd bij een of meerdere percelen een indruk van de vochttoestand van de bovengrond (20 tot 30 cm). Bij herhaald toepassen doen gebruikers vrij snel ervaring op met deze methode. Bovendien kunnen zij zichzelf controleren door gelijktijdig een grondmonster te nemen en te drogen in de magnetron. Omdat berekening voornamelijk op zandgrond voorkomt, worden voor zandgrond vier klassen van mogelijke vochttoestand omschreven. De omschrijvingen zijn opgenomen in tabel 1.15.

Tabel 1.15 Visuele beoordeling van de vochttoestand en benodigde beregening

Uiterlijk gras nodig?	Groeivertraging	Kleur grond	Kneedbaarheid grond	Beregening
Frisgroen	Geen	Basiskleur	Goed kneedbaar, soms vochtuittreding.	Nog geen beregening nodig.
's Morgens frisgroen, in de loop van de dag begin van verwelking.	Geen	Lichter van kleur	Kneedbaar, maar valt gemakkelijk uiteen, soms kruimelig.	Binnenkort beregening nodig (afhankelijk van weer).
Stressverschijnselen: verwelking, vouwen van bladeren, 'krimpen', donkere kleur.	Aanwezig	Veel lichter	Niet goed kneedbaar, brokkelig, kruimelig, iets stoffig.	Beregening nodig, uitstel kost productie.
Krimpt, donkere doffe kleur, is duidelijk aan het verwelken, er ontstaat dood en/of afstervend materiaal.	Groeistilstand	Erg licht	Niet kneedbaar, bevat geen vocht, stoffig, glijdt gemakkelijk uit boor.	Beregening nodig, droogte heeft productie gekost.



Voorbeeld van niet goed kneedbare grond. Beregening is in dit geval nodig, uitstel kost productie.

Actuele vochttoestand bepalen met magnetron

De magnetron is een relatief snel en eenvoudig hulpmiddel om het vochtgehalte van de bovengrond te bepalen. Verzamel met een aantal steken van een gutsboor (minimaal acht per perceel, diagonaalsgewijs en 20 tot 25 cm diep) grond en droog die in de magnetron. Besteed bij een heterogene bovengrond meer aandacht aan de monsternamen. Bij het drogen van de grond wordt een volumepercentage bepaald. Dit getal komt overeen met de hoeveelheid vocht die de grond bevat per 10 cm wortelzone. Vergelijk voor de beoordeling van de vochttoestand het volumepercentage van de betreffende bovengrond met de waarden uit tabel 1.13.

Grond drogen:

- Het vermogen van de magnetron moet minimaal 500 Watt zijn.
- Neem 200 tot 250 gram grond en verspreid die in een ruime schaal.
- De droogtijd ligt tussen de 12 en 15 minuten. Controleer dit door het grondmonster na 12 minuten drogen te wegen en het monster na 2 minuten extra droogtijd nogmaals te wegen (een of enkele malen herhalen). Wanneer het gewicht van het monster niet meer afneemt na de extra droogtijd, is al het vocht uit de grond verdampt en kan dus de droogtijd worden vastgesteld.
- Na het drogen van de grond wordt de volumefractie vocht uitgerekend. Dit is de massaverhouding tussen de water- en de vaste hoeveelheid materiaal, vermenigvuldigd met de dichtheid van de grond (tabel 1.5). De volumefractie vocht is het vocht vermenigvuldigd met 100 procent. De vochtinhoud van de grond per 10 cm laagdikte (mm) is qua getal gelijk aan het volumepercentage.
- De berekening van het volumepercentage vocht gaat als volgt:

$$\frac{(\text{gewicht schaal met natte grond} - \text{gewicht schaal met droge grond})}{(\text{gewicht schaal droge grond} - \text{gewicht lege schaal})} \times \text{dichtheid van de grond} \times 100\%$$

Beregeningsplanning met vochtbalans

Als de vochtsituatie nog voldoende is, is het belangrijk om te weten wanneer een vochttekort te verwachten is. Het verloop van de vochtsituatie kan worden berekend met een vochtbalans. Het opstellen van een vochtbalans is vooral een goed hulpmiddel voor bedrijven of percelen waar sprake is van enige capillaire nalevering, en een gewas dus minder snel verdroogt. Tijdens droge perioden in het groeiseizoen is het bij deze percelen erg verleidelijk om eerder te beregenen dan nodig is.

Uitgangspunt voor de vochtbalans kan de vochtinhoud bij veldcapaciteit zijn (in het voorjaar). De actuele vochttoestand bepalen met een droogstoof of magnetron kan ook. Noteer voor het bijhouden van een vochtbalans dagelijks de gewasverdamping, de neerslag en de eventuele beregeningsgift. Op gronden met capillaire nalevering worden deze factoren in de vochtboekhouding betrokken (mm/dag, zie tabel 1.14). Dit is een goede manier om de verandering van de vochttoestand te berekenen en bij te houden.

De capillaire nalevering kan de gewasverdamping niet overstijgen, omdat deze mede een gevolg is van gewasverdamping. Wanneer de actuele vochtinhoud kleiner of gelijk is aan de vochtinhoud bij $pF = 2,7$, is er sprake van een gereduceerde verdamping en groeireductie. Dit laatste kan variëren van 0 tot 100 procent. In het vochttraject van $pF = 2,7$ tot $pF = 3,7$ is deze reductie bij benadering 50 procent. Bij neerslag wordt er voor het betreffende etmaal geen rekening gehouden met capillaire nalevering.

Voor het inschatten of berekenen van de capillaire nalevering is de grondwaterstand van belang. Deze is af te lezen met een meetlint in drinkwaterbuizen, die op dat moment niet

worden gebruikt of in speciaal hiervoor geplaatste dunne PVC-buizen. Wanneer de vochtbalans niet blijkt te kloppen met de werkelijkheid (vochtmonster of praktijkervaring), kan altijd worden teruggevallen op de eenvoudige methoden: een gutsboor gebruiken of een vochtmonster nemen.

Beregeningsgift

Wanneer de vochttoestand onvoldoende is, valt soms het besluit om te gaan beregenen. De giftgrootte moet worden gerelateerd aan de bewortelingsdiepte van het gewas en de textuur van de grond. Want hoe dieper gras wortelt, des te groter de vochtlevering vanuit de wortelzone is. Bij een onvoldoende vochtsituatie bij bijvoorbeeld gras met een geringe bewortelingsdiepte, is het verstandig de gift niet te groot te kiezen. Zo blijft de kans op verlies van water beperkt.

De giftgrootte kan worden afgeleid uit het verschil tussen de vochtinhoud bij $pF=2$ en de actuele vochtinhoud, vermenigvuldigd met de bewortelingsdiepte. Het is aan te raden een bufferhoeveelheid in dit verschil op te nemen van minimaal 6 mm om een onverwachte regenbui niet verloren te laten gaan. Geadviseerd wordt minimaal 10 en maximaal 25 mm per gift te geven. Voor maïs wordt als maximum 25 mm geadviseerd. Bij grotere giften is er kans op plasvorming. De gift van 25 mm kan in het zelfde etmaal herhaald worden (zonder het risico van waterverspilling) als de bewortelingsdiepte meer dan 60 cm bedraagt. Bij een geringere bewortelingsdiepte geldt hetzelfde advies als voor grasland. Voor zwak lemig zand is de hoeveelheid gemakkelijk opneembaar vocht tussen $pF = 2$ en $pF = 2,7$ per 10 cm bovengrond 12 mm. Bij een bewortelingsdiepte van 20 cm is dit 24 mm. De geadviseerde giftgrootte bij berekening is vervolgens 18 mm (24 mm tot 6 mm buffer).

1.8 Zoutgehalte van water

Het zoutgehalte van water wordt uitgedrukt in mg chloor per liter (mg Cl/l) bodemvocht. Bij landbouwkundige problemen wordt hoofdzakelijk gesproken van grammen NaCl (keukenzout) per liter bodemvocht (g NaCl/l). Om van chloor (in mg/l) op keukenzout (in g/l) te komen moet worden vermenigvuldigd met 0,0016, om van keukenzout op chloor te komen met 600.

Matig brak water (1,44 - 1,92 g NaCl/l) is nog geschikt voor de berekening van grasland.

Zout water (> 8,00 g NaCl/l) is totaal ongeschikt voor gebruik in de landbouw.

Zeewater bevat 30 g NaCl/l = 18.000 mg Cl/l.

Rijnwater bevat in een droge periode met weinig afvoer tot circa 0,5 g NaCl/l = circa 300 mg Cl/l.

Het zoutgehalte wordt bepaald in een monster water of grond. Bij het grondonderzoek onderscheidt men het A-, B-, en C-cijfer:

A = vochtgehalte van de grond (g water/100 g droge grond). Het A-cijfer komt overeen met $100 \times w$ (w is het watergetal).

B = het zoutgehalte van de grond (g NaCl/100 g grond).

C = het zoutgehalte van het bodemvocht (g NaCl/l bodemvocht).

De plant reageert in hoofdzaak op de concentratie van zout in het bodemvocht (C).

Omrekenen kan met de formule:

$$C\text{-cijfer} = \frac{1000 \times B\text{-cijfer}}{A\text{-cijfer}}$$

Voor gras is een C-cijfer van 8 nog toelaatbaar.

1.9 SLOOTONTWATERING EN ONDERBEMALING

Een slootdiepte van 50 cm onder slootpeil is een gangbare marge voor een minimale afvoercapaciteit van de sloot bij een gemiddelde slootbegroeiing. Om onnodige droogteschade te voorkomen moet het slootpeil gelijk zijn aan de optimale ontwateringsbasis. Lagere slootpeilen leiden in principe tot extra droogteschade, zonder dat hier een verlaging van de schade door wateroverlast tegenover staat. Als het gewenste slootpeil in de praktijk niet te realiseren is, betekent dit naast een nauwere slootafstand ook een hogere voorjaarsgrondwaterstand dan bedrijfseconomisch wenselijk is.

Als waarde voor de slootbodembreedte moet op basis van praktijkervaringen met slootonderhoud 50 cm aangehouden te worden. Het taludverhang is gebaseerd op taludstabiliteit (bodempopbouw) en landverlies. Voor kleigrond geldt een talud van 1 : 1 en voor zand- en veengrond 1 : 1,5. Bij slootafstanden van meer dan 30 tot 40 meter is een aanvullende drainage gewenst. Het slootpeil moet dan zo laag zijn dat een drainage kan worden aangelegd. Bij zeer slecht doorlatende gronden valt met een nauwe drainage (minder dan 10 meter) en opvulling van de drainsleuf met goed doorlatend materiaal, vaak nog een redelijke waterafvoer te realiseren. Vervang greppels zo mogelijk altijd door een drainage. Behalve voor gronden waarbij infiltratie mogelijk is, heeft het geen zin om 's zomers een hoger peil te handhaven dan 's winters.

Onderbemaling

Houd bij onderbemaling rekening met een afvoer van 10 mm/etmaal. Dit komt neer op een pompcapaciteit van $8 \text{ m}^3 / (\text{min.} \times 100 \text{ ha}) = 4 - 5 \text{ m}^3 / (\text{h} \times \text{ha})$. Zie hiervoor ook tabel 1.16. Voor bemalingen van kleine oppervlakken en vooral wanneer de ondergrond goed doorlatend is, moet rekening worden gehouden met kwel. Een pompcapaciteit van $10 \text{ m}^3 / (\text{min.} \times 100 \text{ ha}) =$ circa $6 \text{ m}^3 / (\text{h} \times \text{ha})$ is meestal voldoende.

Tabel 1.16 Stroomverbruik elektrische bemaling¹

Te bemalen oppervlakte (ha)	Opvoerhoogte (m)	Capaciteit (m ³ /min)	Energieverbruik (kWh)
5	0,5	0,4	0,10
	1,0		0,16
10	0,5	0,8	0,20
	1,0		0,32
15	0,5	1,2	0,30
	1,0		0,48
20	0,5	1,6	0,40
	1,0		0,64

¹ Gebaseerd op een pompcapaciteit van $8 \text{ m}^3/(\text{min}/100 \text{ ha})$.

Elektrische bemaling geniet de voorkeur. Zijn er veel bomen aanwezig of veel bebouwing, of is de open waterberging gering, dan is alleen elektrische bemaling mogelijk. In vlakke en open gebieden en bij voldoende open waterberging kan een windwatermolen worden gebruikt. Een voorziening aan de molen (poelie) kan het gewenste peil handhaven in natte perioden met onvoldoende windkracht.