

1 Bodem en water

1.1 Bodemkundige indeling	1-2
1.1.1 Korrelgrootteklassen en -verdelingen	1-2
1.1.2 Indeling naar organische stofgehalte	1-3
1.1.3 Dichtheid van de grond	1-4
1.2 Draagkracht van graslandgronden	1-5
1.2.1 Verbetering van draagkracht.....	1-5
1.3 Verdamping	1-6
1.4 Neerslag	1-8
1.5 Bodemvocht	1-9
1.6 Grondwaterstanden	1-11
1.6.1 Waterbergend vermogen	1-13
1.6.2 Verdroging	1-13
1.7 Berekening	1-13
1.7.1 Bodemvocht en plantengroei	1-14
1.7.2 Berekeningssignaal.....	1-16
1.8 Zoutgehalte van water	1-17
1.9 Sloopontwatering en onderbemaling	1-17
1.10 Bodemkwaliteit	1-18
1.10.1 Wat is een goede bodemkwaliteit?	1-18
1.10.2 Maatregelen om bodemkwaliteit te verbeteren	1-19
1.10.3 Blijvend grasland woelen om bodemverdichting op te heffen.....	1-23
1.11 Organische stof	1-25

In de paragrafen 1.1 en 1.2 van dit hoofdstuk wordt informatie gegeven om percelen in te delen in de 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, berekening 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 berekend kan worden. In paragraaf 1.10 wordt uitgelegd wat bodemkwaliteit betekent en welke maatregelen de bodemkwaliteit kunnen verbeteren. Dit is onder andere ontleend aan het onderzoek 'Zorg voor Zand'. In paragraaf 1.11 wordt ingegaan op de functie van organische stof en hoe het gehalte behouden of verhoogd 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.

Figuur 1.1 Namen van bestanddelen van grond op basis van korrelgrootte

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

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. De 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	}	Zavel
12 - 17,5	Matig lichte zavel		
17,5 - 25	Zware zavel		
25 - 35	Lichte klei	}	Klei
35 - 50	Matig zware klei		
50 - 100	Zeer zware 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	}	Zand ²
10 - 17,5	Zwak lemig ¹ zand		
17,5 - 32,5	Sterk lemig ¹ zand		
32,5 - 50	Zeer sterk lemig ¹ zand		
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 waar de helft (in gewicht) van de zandkorrels onder en de helft (in gewicht) van de zandkorrels boven zit.

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		
210 en 420	Matig grof zand	}	Grof zand
420 en 1.000	Zeer grof zand		

1.1.2 Indeling naar organische stofgehalte

De indeling en benaming van grond naar het organische stofgehalte berust op het gewichtspercentage organische stof berekend 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 organische stofgehalte zand veel humeuzer wordt bevonden dan klei.

Tabel 1.4 Benaming van gronden naar massapercentage organische stof en lutum

Benaming	Percentage organische stof bij:					
	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. 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 $> 0,7$ MPa (> 7 kg/cm²) en geheel onvoldoende bij een indringingsweerstand $< 0,5$ MPa (< 5 kg/cm²), 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 organische stofgehalte < 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 organische stofgehalte en verbetering van de ontwatering.

Organische stofgehalte verlagen

Vooraf bij een ondiepe ontwatering kan verlaging van het organische stofgehalte in een venige toplaag de draagkracht aanzienlijk versterken. Geschikte bewerkingen hiervoor zijn diepploegen, mengwoelen en bezanden zoals hierna voor enkele grondsoorten is weergegeven. Let op: verlaging van het organische stofgehalte 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 organische stofgehalte 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 of 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 gevallen 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 grondvrijzel. 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.

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 recht evenredig 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 verdampingoverschotten voor gras en voor maïs bij verschillende overschrijdingskansen staan in tabel 1.6 en 1.7.

Tabel 1.6 Verdampingoverschotten voor De Bilt (mm) vanaf 1 april voor gras bij verschillende overschrijdingskansen (in procenten)

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

Tabel 1.7 Verdampingsoverschotten voor De Bilt (mm) vanaf 21 april voor maïs bij diverse overschrijdingskansen

	Dagen vanaf 21 april	Overschrijdingskans (%)				
		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

Als toelichting op de terminologie 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 (Et): verdamping van een droog bladoppervlak van planten.
- Interceptiewater: deel van de neerslag dat door de bovengrondse plantendelen wordt vastgehouden.
- Evaporatie van interceptiewater (Ei): verdamping van interceptiewater.
- Bodemevaporatie (Es): 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 (Etp): theoretische transpiratie van planten die voldoende van water zijn voorzien.
- Potentiële bodemevaporatie (Esp): theoretische bodemverdamping van een bodem die voldoende van water is voorzien.
- Potentiële evapotranspiratie of potentiële verdamping (Ep): 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 (Eo): theoretische verdamping die zou optreden bij een oneindig uitgestrekt, ondiep glad wateroppervlak, zonder dat opslag van energie optreedt.
- Referentie-gewasverdamping (Er): 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 (Eo). Tabel 1.8 geeft waarden voor de Er 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 1.9 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 1.8 Referentie-gewasverdamping (E_r) gemiddeld per maand en per jaar in mm van vijf KNMI-stations over het klimatologische tijdvak 1981 - 2010 (de gemiddelde verdamping per maand en per dag is hieruit berekend)

Station	Maanden												Jaar-som
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
De Kooy	8,4	16,0	35,3	62,8	91,5	98,4	103,0	85,7	52,3	27,9	11,1	6,4	598,8
Eelde	7,4	14,0	31,1	57,3	83,5	88,5	94,1	78,9	48,8	26,2	10,2	5,7	544,7
De Bilt	8,2	15,1	32,7	58,7	84,4	90,0	95,4	80,3	49,3	27,6	11,1	6,2	558,9
Vlissingen	9,9	17,3	37,3	63,5	88,9	98,8	103,9	88,4	55,5	30,7	13,1	7,3	614,6
Maastricht	9,1	15,7	34,4	60,0	86,2	94,2	99,5	84,2	52,2	29,8	12,3	6,8	584,4
Gemiddeld/mnd	8,5	15,2	34,3	60,6	87,6	94,3	98,7	82,8	51,1	28,1	11,1	6,3	579,6
Gemiddelde/dag	0,3	0,5	1,1	2,0	2,8	3,1	3,2	2,7	1,7	0,9	0,4	0,2	1,6

Tabel 1.9 Gewasfactoren (f) per decade¹ voor een aantal gewassen, gerelateerd aan de referentie-gewasverdamping (E_r)

Maand	Decade ¹	Gras ²	Mais
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 Een decade is een periode van tien dagen² 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 (E_r).

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 over een periode van dertig jaar (1981 - 2010)

District	Station	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Jaarsom
1	De Kooy	70	47	58	36	50	55	61	79	87	102	92	77	814
2	Leeuwarden	75	54	64	40	60	68	80	89	87	89	87	78	870
3	Eelde	76	54	67	43	58	74	81	74	79	77	79	77	838
4	Hoorn	73	52	66	39	55	62	71	86	77	98	87	80	844
5	Swifterbant	69	51	66	44	58	72	84	85	78	82	74	71	834
6	Twente VB	76	55	73	48	64	68	79	75	67	73	74	80	833
7	Hoofddorp	78	56	72	46	58	67	79	95	91	101	100	89	931
8	De Bilt	75	59	74	44	65	68	84	77	81	89	86	84	887
9	Winterswijk	72	51	70	46	68	73	77	75	72	73	73	79	829
10	Andel	73	57	71	48	64	70	77	72	71	77	79	79	836
11	Vlissingen	62	51	58	41	59	65	70	77	76	83	86	78	805
12	Oudenbosch	70	55	66	47	59	65	85	78	81	79	84	83	851
13	Eindhoven	75	58	69	47	66	64	77	68	68	71	77	79	818
14	Venlo	71	54	66	46	67	71	79	70	62	71	72	77	805
15	Beek (L)	66	58	66	47	68	71	74	74	63	69	68	73	794
Landelijk gemiddelde ¹		73	55	68	44	61	68	78	78	78	83	82	80	847

Bron: KNMI

¹ Gemiddelde gebaseerd op alle neerslagstations in Nederland.

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:

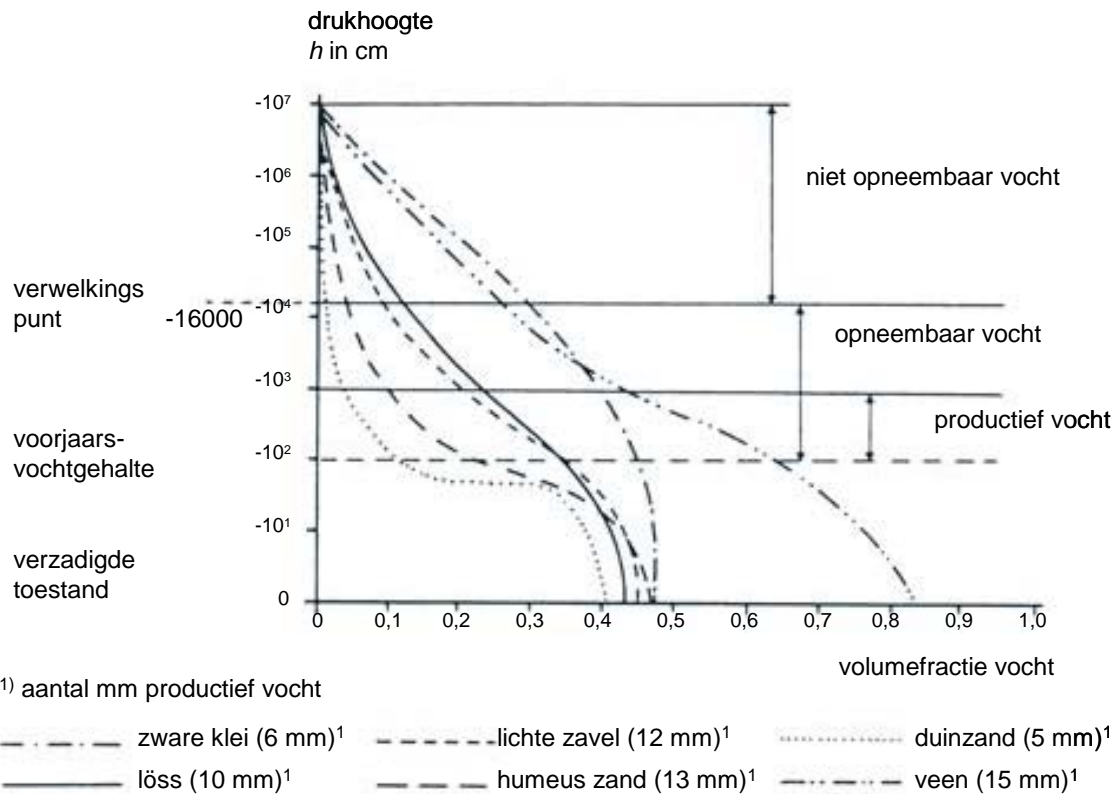
- Volumefractie: het volumeaandeel water in relatie tot het totale bodemvolume ofwel het vochtgehalte (m^3 water/ m^3 grond). Volumepercentage water = volumefractie x 100.
- Watergetal (w): de massaverhouding water-vaste fase. Dit is de massa van de vloeibare fase, gedeeld door de massa van de vaste 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 pF genoemd. Een 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 grootte pF wordt gebruikt, wordt de grafische weergave van de vochtkarakteristiek aangeduid als pF-curve.

Figuur 1.2 Vochtcharacteristieken van monsters van zes verschillende grondsoorten

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 $pF = 1,7$ en $h = -50$ 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 $pF = 2,3$ en $h = -200$ 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 groeiremmingen 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 vochtopname wordt bemoeilijkt en de verdamping afneemt. Voor granen geldt een waarde van -300 cm ($pF = 3,0$). Bodemvocht met lagere drukhoogten dan $-10^{3,5}$ cm 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 vochtcharacteristiek.

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:

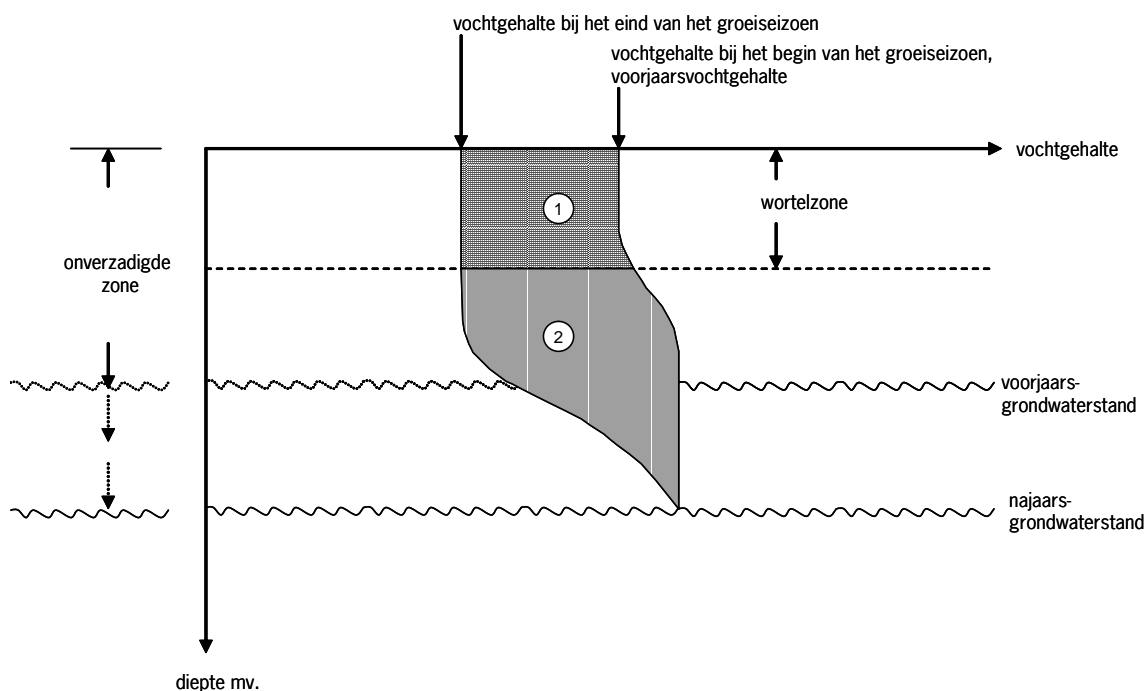
- De hoeveelheid opneembaar vocht in de bewortelbare zone.
- De hoeveelheid vocht die voor de plant opneembaar is door capillaire nalevering vanuit de lagen onder de bewortelbare zone.

Bij een bodemprofiel met grondwaterinvloed (voorjaarsgrondwaterstand $< 1,50$ m) 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.

Figuur 1.3 Schematische weergave van de uitdroging van de bodem door vochtopname door een gewas tijdens een droog zomerseizoen (Wesseling, 1976)



1 = direct opgenomen vocht

2 = vocht opgenomen na capillaire opstijging

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 hoofdingeling (I t/m VII) is intact gebleven. Tabel 1.11 geeft een volledig overzicht van beide indelingen. Tevens staat in deze tabel een vergelijking met de oorspronkelijke indeling. De oorspronkelijke indeling wordt nog voor diverse toepassingen gebruikt. De informatie die met de aangepaste grondwatertrappen wordt gegeven, is te splitsen in kwantitatieve en kwalitatieve informatie.

Tabel 1.11 Overzicht van de aangepaste grondwatertrappenindeling en een vergelijking hiervan met de oorspronkelijke indeling

Aangepaste Gt	GHG (cm-mv)	GLG (cm-mv)	Oorspronkelijke 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
VIII	> 140	> 120	VIII
VIIIo	> 140	120 - 180	VIII*
VIIIId	> 140	> 180	VIII*

GHG = Gemiddeld hoogste grondwaterstand

GLG = Gemiddeld laagste grondwaterstand

Gt = Grondwatertrap

* = afwijkende GHG t.o.v. aanduiding zonder *

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 oorspronkelijke 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 overstromd.

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 1.12 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
<i>Bodemtypen met textuuromschrijving</i>							
Broekeerdgrond	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 gebruiksdoeleinden), tijdelijk het slootpeil in het voorjaar te verhogen en grondwater beperkt te gebruiken. Verder is 'berekeningssignaal' 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. Wageningen Livestock Research gebruikt daarvoor het [Bedrijfs Begrotings Programma Rundvee - BBPR](#). Zo zijn bijvoorbeeld de gevolgen van verminderde drooglegging voor melkveebedrijven in de Krimpenerwaard berekend ([ASG Rapport 88](#)).

1.7 Berekening

Berekening 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 vooral in op het bepalen van het juiste berekeningstijdstip en de berekeningsgift. Ook het te verwachten economisch effect van berekening is belangrijk.

Van belang is onderscheid te maken tussen de kosten op korte termijn (binnen een groeiseizoen) en de lange termijnkosten (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 berekening. Het economisch rendement van berekening 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 berekening, op voorwaarde dat beregend wordt volgens 'Berekeningssignaal' en dat bovendien berekening wordt uitgesteld bij hoge zomerse temperaturen. Uit onderzoek bleek dat berekening rendabel is wanneer snijmaïs duurder is dan € 30,- per ton vers product

(PraktijkKompas Rundvee april 2004). Door beregening kan beweiding in droge perioden 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 vocht karakteristiek - 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 .

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 (%)	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
Kleilig veen	-	8 - 100	25 - 70	61	49	35	12	14	26

Bron: Alterra, 1987

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

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 bewortelingsdiepte 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.



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

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.

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 organische stofgehalte en een lagere dichtheid dan de ondergronden. De bouwstenen zijn ingedeeld naar leemgehalte, lutumgehalte, mediaan van de zandfractie en organische stof.

Tabel 1.14 Benadering van de capillaire opstijging uit het grondwater

Ondergrond	Leem %	Lutum (%)	Verzadigde doorlatendheid (m/dag)	Toelaatbare afstand tussen onderkant effectieve wortelzone ¹ en grondwater (cm) voor capillaire nalevering 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.

1.7.2 Beregeningssignaal

Om beregening doelmatig in te zetten is het internetprogramma 'Beregeningssignaal' van ZLTO beschikbaar. Voor gras en maïs is dit programma sinds 2014 landelijk beschikbaar. Het programma adviseert op economische grondslag of - en hoeveel er beregend moet worden. Het advies van beregeningssignaal is per perceel, afhankelijk van gewas en neerslag.

Door het gebruik van Beregeningssignaal beregent u alléén wanneer dat nodig is. Te vroeg beregenen - met alle kosten voor beregeningsinstallatie, brandstof en arbeid van dien - wordt voorkomen, evenals te laat beregenen - met opbrengstverlies.

Het programma geeft op elk gewenst moment een beregeningsadvies per ingevoerd perceel. Naast de aanbevolen watergift berekent het programma voor melkveehouders ook het rendement van de beregeningsgift. Aan de hand van eigen invoer en met behulp van onder andere buienradar wordt een vochtbalans per perceel bijgehouden. Beregeningssignaal zet deze informatie om in een advies per perceel. U krijgt als gebruiker een e-mail als beregening wenselijk is. Het advies kunt u op de website verder in detail bekijken.

De gebruiker voert éénmalig de bedrijfsgegevens in en tekent zijn percelen in. Om het systeem up-to-date te houden, moet de gebruiker wel de beregeningsgiften en grondwaterstanden bijhouden. Neerslaggegevens worden automatisch ingelezen van buienradar en kunnen bij afwijkingen overschreven worden. Dit alles zorgt voor een nauwkeurig beregeningsadvies. Daarbij wordt rekening gehouden met de kosten en baten van beregening en -bij melkveehouders- met de actuele ruwvoorraad.

Vanaf 2014 is er ook een app voor de smartphone beschikbaar, zodat u overal gegevens kunt invoeren en aflezen. In Noord-Brabant is Beregeningssignaal één van de maatregelen die u kunt opnemen in uw Bedrijfswaterplan.

ZLTO heeft Beregeningssignaal gemaakt in samenwerking met Wageningen Livestock Research, Present Internet, DLV-Plant, Royal Haskoning en Suikerunie.

Meer informatie is te vinden op: <https://www.zlto.nl/beregeningssignaal>, waar ook bovenstaande tekst aan ontleend is.

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 beregening 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-cijfer = $1000 \times B\text{-cijfer} / A\text{-cijfer}$

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 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 $8 \text{ m}^3 / (\text{min.} \times 100 \text{ ha}) = 4 - 5 \text{ m}^3 / (\text{uur} \times \text{ha})$. Zie hiervoor ook tabel 1.15. Voor bemalingen van kleine oppervlakken en vooral wanneer de ondergrond goed doorlatend is, moet rekening worden gehouden met kwel. Een pompcapaciteit van $10 \text{ m}^3 / (\text{min.} \times 100 \text{ ha}) = \text{circa } 6 \text{ m}^3 / (\text{uur} \times \text{ha})$ is meestal voldoende.

Tabel 1.15 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.

Twee door ZuivelNL mede gefinancierde projecten op het terrein van waterbeheer zijn 'Precisiewatermanagement met onderwaterdrains en putbemaling' en de 'BedrijfsWaterWijzer'.

Precisiewatermanagement met onderwaterdrains en putbemaling

Onderwaterdrains liggen onder slootpeil en hebben zowel een drainerende als een infiltrerende werking. Extra infiltratie draagt bij aan een vermindering van bodemdaling. Een hoog slootpeil vergroot dit effect, echter leidt ook snel tot vernatting. Op KTC Zegveld wordt onderzocht of putbemaling de sturingsmogelijkheden vergroten om zowel vernatting als maaiveld daling te minimaliseren.

Bij putbemaling zijn de drains aangesloten op een put en wordt het peil gestuurd door een pomp. Daarbij wordt het water in of uit de sloot gepompt. Het peil in de put kan daardoor onafhankelijk van het slootpeil ingesteld worden om daarmee het grondwaterpeil extra te verhogen of te verlagen.

Volg de voortgang op de projectpagina [Precisiewatermanagement met onderwaterdrains en putbemaling](#) op [Verantwoorde Veehouderij](#) en het project [Sturen op draagkracht en CO2-emissie met pompgestuurde onderwaterdrains](#).

BedrijfsWaterWijzer

Veel breder dan de vochtvoorziening van gewassen is de BedrijfsWaterWijzer. Dit is een tool voor het opstellen van een bedrijfswaterplan die past bij de bedrijfsomstandigheden en de doelen van de veehouder en waterschap. De BedrijfsWaterWijzer brengt met zeven modules alle facetten van water op een melkveebedrijf in beeld:

1. Erfwater
2. Regulering waterbehoefte
3. Beperking wateroverlast
4. Uitspoeling naar grondwater
5. Uitspoeling naar oppervlaktewater
6. Drinkwater vee
7. Ecologisch beheer

Meer informatie is onder andere te vinden op de projectpagina [BedrijfsWaterWijzer](#). Zie ook het nieuwsbericht [BedrijfsWaterWijzer wordt langzaam een volwassen internet tool](#).

1.10 Bodemkwaliteit

1.10.1 Wat is een goede bodemkwaliteit?

1.10.1.1 Definitie

Een goede bodemkwaliteit kan gedefinieerd worden als het duurzame vermogen van een bodem om gewassen van voldoende water en nutriënten te voorzien, de efficiëntie van externe inputs te maximaliseren, en negatieve invloeden van externe inputs op de omgeving te minimaliseren. Een externe input kan bijvoorbeeld een meststof zijn. Een goede bodemkwaliteit kent daarnaast nog meer aspecten, zoals een goede ziekteverendheid. In het project 'Zorg voor Zand', gefinancierd door Productschap Zuivel, is onderzoek uitgevoerd naar deze aspecten van de bodem (www.louisbolk.nl, publicatie LV69: [Van schraal naar rijk zand](#)). Uit dit onderzoek komt het volgende deel van de tekst.

1.10.1.2 Meten van bodemkwaliteit

Bodemkwaliteit wordt vaak bepaald door een grondmonster voor analyse in te sturen naar een laboratorium. Het is daarnaast echter minstens zo belangrijk om waarnemingen in het veld te doen; deze geven vaak veel informatie over de bodemkwaliteit die een analyse-uitslag niet kan geven. Het regelmatig graven van een profielkuil is aan te raden. Een andere mogelijkheid is om aanvullende testen te doen met een bodemkwaliteitskit.

1.10.1.3 Historie

De ontstaansgeschiedenis van een perceel heeft vaak een bepalende invloed op de bodemkwaliteit. De geschiedenis bepaalt bijvoorbeeld van welke grondsoort er sprake is (zand, klei, veen), en op welke hoogte een perceel ligt. Deze kenmerken bepalen in belangrijke mate de bruikbaarheid van een perceel. Zo zijn hooggelegen percelen vroeger bewerkbaar in het voorjaar, maar hebben in de zomer eerder last van droogte. Voor een melkveehouder zijn dit soort eigenschappen een gegeven. De vraag is hoe binnen deze gegeven eigenschappen de bodemkwaliteit behouden of verbeterd kan worden. Hieronder volgen een aantal praktische maatregelen. Deze maatregelen zijn vooral gericht op zandgrond, maar het grootste deel is ook toepasbaar op klei- of veengrond. De informatie is afkomstig uit de brochure '[Van schraal naar rijk zand](#)'.

1.10.2 Maatregelen om bodemkwaliteit te verbeteren

1.10.2.1 Zorg voor een goede ontwatering

Wat is een goede ontwatering?

Bij een goede ontwatering zijn binnen een dag de plassen van het land. Een goed ontwaterde zandgrond heeft een gemiddeld laagste grondwaterstand van -120 cm in de zomer en -80 cm in de winter (Gt IV). Naast goed ontwaterd moet een bodem ook voldoende opdrachtig zijn. Hierbij is de afstand tussen de diepste wortels en de grondwaterstand niet meer dan 80 cm. Een slechte ontwatering kan, naast natuurlijke oorzaken (ligging), ook veroorzaakt worden door storende lagen in de bodem. Het doorbreken van deze lagen is dan nodig om de waterafvoer te herstellen.

Wat zijn de voordelen?

- Een goede bereikbaarheid en draagkracht en een groter aantal weidbare en werkbare dagen.
- Actiever bodemleven, vooral soorten die sterk reageren op zuurstoftekort. De pendelaar (regenworm die diepe verticale gangen graaft) komt niet voor op percelen met een te hoge grondwaterstand.
- Kleinere kans op structuurschade, betere beworteling, betere nutriëntenlevering en daardoor een hogere opbrengst en betere kwaliteit van het gewas. Natschade kan oplopen tot meer dan € 200 per hectare per jaar. Drainage (eenmalig € 1200 per hectare) kan daardoor al snel een winstgevende investering zijn.

Wat zijn beperkingen?

Een te sterke ontwatering kan nadelig zijn in de zomer, omdat dan juist een goede vochtaanvoer gewenst is. Probeer een optimum na te streven, door in de zomer desgewenst het waterpeil in de sloten op te zetten (drains afdoppen, drainmondverhoging of balkstuw in sloten).

Praktijktips

- Het 'rondploegen' van een perceel kan tegen lage kosten de ontwatering al flink verbeteren. Een ander alternatief is het graven van greppels.
- Bestaande drainagebuizen moeten jaarlijks gecontroleerd worden op doorlopen. Drainage heeft weinig zin als de buizen verstopt zijn.
- Storende lagen kunnen worden opgeheven door grondbewerking bij herinzaai. Een ploegzool kan relatief eenvoudig worden doorbroken door kouters te monteren.

1.10.2.2 Bekalk regelmatig

Wat is regelmatige bekalking?

Het is verstandig om minimaal eens per vier jaar de bodem te analyseren, onder andere op de zuurgraad (pH). Als de pH lager is dan het gewenste niveau, is bekalking nodig. De streefwaarde voor de pH van een zandgrond is tussen de 4,8 en 5,5 voor grasland en tussen de 5,2 en 5,7 voor maisland. Uitgebreide informatie voor andere grondsoorten wordt gegeven in de Bemestingsadviesbasis (www.bemestingsadvies.nl).

Wat zijn de voordelen?

- Een voldoende hoge pH heeft een gunstige invloed op bodemstructuur en het bodemleven en daarmee op beworteling en nutriëntenlevering. Daarom heeft regelmatig bekalken een positief effect op gewasopbrengst en -kwaliteit.
- Op grasland kan een pH-daling van 5,5 tot 4,3 een opbrengstdaling van 10% geven. Dit komt overeen met een opbrengstderving tussen de € 180 en € 280 per hectare per jaar. Daarmee is bekalking al snel een winstgevende maatregel.
- Bij snijmais kan een daling van de pH van 5,2 tot 4,4 al 6% opbrengst kosten. Bij een verdere daling tot 4,2 is dit 15%, en bij een pH van 4 zelfs 25%. Dit komt overeen met opbrengstdervingen oplopend van € 180 tot € 750 per hectare per jaar.

Wat zijn de beperkingen?

Een te hoge kalkgift in één keer kan leiden tot een tijdelijke extra afbraak van organische stof waarbij extra stikstof vrijkomt.

Praktijktips

- Een kleine jaarlijkse gift is gunstiger dan één grote gift per vier jaar. Hierdoor kan de bodem sneller uit evenwicht raken en kan relatief veel organische stof afgebroken worden.
- Poederkalk is goedkoop, maar de werking kan te snel zijn. Uit korrels komt de kalk geleidelijker vrij. Daarnaast kunnen korrels ook beter gedoseerd worden.
- Bekalk bij voorkeur in het najaar; dat geeft voldoende tijd voor een goede werking.
- Regelmatige bemesting met organische mest (drijfmest, stalmest en compost) levert een bijdrage aan het op peil houden van de pH.

1.10.2.3 Vervang continueelt snijmais door vruchtwisseling

Wat is vruchtwisseling?

Bij continueelt wordt snijmais meerdere jaren achtereen op hetzelfde perceel geteeld. Hierdoor kunnen ziekten ontstaan en kan het organische stofgehalte snel dalen. Bij vruchtwisseling wordt continueelt snijmais en continueelt grasland op afzonderlijke percelen vervangen door een afwisseling van deze teelten op één perceel.

Wat zijn de voordelen?

- Toename van het gehalte organische stof van een perceel met continueelt snijmais van 2,0 - 2,5% tot 3,0 - 3,5% (op zandgrond).
- Toename van het bodemleven en herstel van het aantal regenwormen in de graslandfase.
- De extra kosten van vruchtwisseling worden goedgemaakt door een 1,5 ton drogestof hogere snijmaisopbrengst en een 0,5 ton drogestof hogere grasopbrengst per hectare. Daarmee is vruchtwisseling op een grasperceel kostendekkend, en kan het op een snijmaisperceel een meeropbrengst van € 160 tot € 180 geven vergeleken met continueelt.

Beperkingen

- Grasland moet vaker gescheurd worden, waardoor het gehalte organische stof op deze percelen daalt.
- Kans op meer problemen met ritnaalden en engerlingen tijdens snijmaisteelt.

Praktijktips

- Op percelen met voorheen continueelt van snijmais kan vruchtwisseling het best worden toegepast in dienst van de maïsteelt. Een graslandperiode van twee tot drie jaar is voldoende. Vanwege het vaak lage stikstofleverend vermogen van de percelen met voorheen continueelt is een maaiweide met gras en rode of witte klaver het overwegen waard.
- In plaats van gras kan bij continueelt van snijmais ook af en toe een graangewas voor silage of krachtvoer geteeld worden. Evenals gras hebben granen door hun intensieve en diepe beworteling een gunstig effect op bodemstructuur, organische stof en bodemleven.

1.10.2.4 Bemest voldoende organische mest

Wat is voldoende organische mest?

Bij lage drijfmestgiften kan het organische stofgehalte dalen, ook op grasland. Een totaalgift van 50 tot 60 kuub per ha organische mest (drijfmest en weidemest) is nodig om het gehalte op een gebruikelijk niveau te handhaven. Bij snijmaïs is een gift tot 35 kuub per ha aan te bevelen.

Wat zijn de voordelen?

- Bemesting met organische mest houdt de pH op peil. In onderzoek op grasland daalde de pH bij bemesting met alleen kunstmest gedurende zes jaar van 6,1 tot 5,2. Bij drijfmest bleef de pH op 6,1 gehandhaafd. Door dit effect hoeft minder vaak bekalkt te worden.
- Organische mest draagt bij aan opbouw of behoud van organische stofgehalte. In onderzoek op zandgrond nam bij bemesting met drijfmest het gehalte over zes jaar toe met 0,3 - 0,7% ten opzichte van kunstmest. Bij bemesting met compost nam het gehalte met 1% toe.
- Organische mest draagt bij aan opbouw of behoud van het NLV. In onderzoek was na zes jaar bemesting met drijfmest het NLV 11 tot 15 kg hoger vergeleken met alleen kunstmest.
- De snel afbreekbare organische stof in drijfmest geeft het bodemleven een stimulans, wat gunstig is voor bodemstructuur en nutriëntenlevering.
- Bij snijmaïs in continueteelt kan voldoende aanvoer van organische mest de negatieve effecten van continueteelt op organische stof en het NLV afremmen.

Beperkingen

- Te hoge giften drijfmest ineens (meer dan 35 kuub) kunnen leiden tot relatief veel stikstofverlies naar het milieu.

Praktijktips

- Bij een drijfmestgift kleiner dan 20 kuub per hectare of een stalmestgift kleiner dan 15 ton per hectare wordt relatief veel stikstof in de bodem vastgelegd en is de directe werking minder.
- Rijd stalmest uit met een goede strooier, en zorg dat het stro voldoende kort is. Ga eventueel nog met een wiedege over het land. Dit voorkomt dat later een deel van de stalmest ingekuild wordt met het gras.
- Bij een nat en koud voorjaar is het te overwegen om vaste mest na de oogst van de eerste snede uit te rijden. Meestal is de stalmest dan eerder verdwenen dan wanneer deze voor de eerste snede gegeven wordt.

1.10.2.5 Zaai een groenbemester na snijmaïs

Wat is een groenbemester?

Een groenbemester is een gewas dat ingezaaid wordt tijdens de teelt van snijmaïs (Italiaans raaigras) of na de oogst (bijvoorbeeld bladrogge). De groenbemester wordt vervolgens in het voorjaar klein gemaakt en ondergewerkt.

Wat zijn de voordelen?

- Opname van stikstof aan het eind van het groeiseizoen, waardoor minder stikstof uitspoelt naar het grondwater.
- Door mineralisatie van vastgelegde stikstof uit de groenbemester in het volgende voorjaar hoeft er minder op het volggewas bemest te worden (10 - 40 kg N/ha).
- Betere structuur van de grond in het voorjaar, vanwege doorworteling tijdens de winter
- Aanvoer van jonge organische stof.
- Bij een eenvoudige aanpak is het inzaaien van een groenbemester na snijmaïs op de langere termijn ongeveer kostenneutraal. De extra kosten (€ 70 - € 150) worden hierbij goedge maakt door een hogere snijmaïs opbrengst (€ 85 - € 115).

Wat zijn de beperkingen?

- Een groenbemester voert vooral jonge organische stof aan, die in het jaar van onderploegen afbreekt, en heeft daarmee weinig effect op de opbouw van stabiele organische stof.
- Een groenbemester kan de aaltjesdruk verhogen voor akkerbouwgewassen, wat ongunstig is als de snijmaïsteelt onderdeel is van een vruchtwisseling met akkerbouwgewassen.

Praktijktips

- Neem bij voorkeur een groenbemester die winterhard is. Als een groenbemester doodvriest, gaat een deel van de voordelen verloren, waaronder nutriënten.
- Groenbemers kunnen zich in het voorjaar explosief ontwikkelen, waardoor te veel vocht aan de bodem wordt onttrokken. Op tijd onderwerken is dan een must.
- Overweeg om gras als groenbemester onder te zaaien in snijmaïs, als het gewas kniehoog is. Hierdoor kan de groenbemester zich sneller ontwikkelen na de oogst van de maïs, en kunnen de voordelen groter zijn.
- Als de teelt van snijmaïs binnen een akkerbouwsysteem valt, overleg dan altijd met de akkerbouwer over de keuze van een groenbemester.

1.10.2.6 Zaai grasklaver op voormalig bouwland

Wat is grasklaver?

Een mengsel van grasland met rode en/of witte klaver. Een goede mix hiervan zorgt voor stikstofbinding uit de lucht door de klaver, waarvan het gras kan profiteren. Per ton drogestof klaver kan 50 kg N per hectare worden vastgelegd. Bij 10 ton drogestof en 40% klaver is dit 200 kg N.

Wat zijn de voordelen?

- Op een perceel met een laag stikstofleverend vermogen kan de opbrengst van gras met witte klaver hoger zijn dan de opbrengst van gras bemest met 300 kg stikstof uit kunstmest en drijfmest.
- Een mengsel van gras met rode en witte klaver heeft onder alle omstandigheden een vergelijkbare of hogere opbrengst dan gras bemest met 300 kg stikstof uit kunstmest en drijfmest.
- De biologische stikstofbinding door de klaver heeft extra positieve effecten op de opbouw van het stikstofleverend vermogen en de activiteit van het bodemleven, vooral bij een laag NLV.

Wat zijn de beperkingen?

- Het is niet altijd eenvoudig om het klavergehalte op een goed niveau (40% bedekking) te handhaven.
- Het beheer van grasklaver vereist aanpassingen in het management, op het gebied van bemesting, voederwinning, etc.
- Onkruidbestrijding is lastiger, omdat klaver weinig bestrijdingsmiddelen verdraagt.

Praktijktips

- Teel zeker grasklaver op percelen met een NLV lager dan 100.
- Zorg voor een goede pH.
- Zaai grasklaver altijd na een stikstofarme stoppel van een voedergewas.

1.10.2.7 Beperk herinzaai van blijvend grasland

Wat is herinzaai?

Bij herinzaai wordt blijvend grasland doodgespoten en gefreesd, en na ploegen of spitten opnieuw met gras ingezaaid. Bij het ploegen komt veel van de organische stof uit de toplaag onder in de bouwvoor terecht en wordt de aanwezige organische stof versneld afgebroken. Hierdoor neemt het stikstofleverend vermogen van een perceel af. Intensieve grondbewerking heeft verder een negatief effect op het bodemleven, en dan vooral op regenwormen.

Wat zijn voordelen?

- Een beperking van herinzaai voorkomt een sterke daling van het organische stofgehalte in de toplaag, hetzij door onderwerken of door afbraak. Ter illustratie: om 1% organische stof in de laag 0 - 10 cm op te bouwen, dient 400 kuub runderdrijfmest per hectare aangevoerd te worden.
- Minimale herinzaai spaart het bodemleven en hun leefomgeving. Intensieve grondbewerking leidt tot een sterke afname van het aantal regenwormen en regenwormgangen, en de netwerken van schimmeldraden (mycorrhiza) worden vernietigd.
- Bij een afname van de frequentie van herinzaai van eens in de vijf naar eens in de acht jaar, kan een besparing van € 60 tot € 110 aan directe kosten per hectare per jaar gerealiseerd worden.

Praktijktips

- Beoordeel eerst de bodemstructuur. Is deze slecht, kies dan voor herinzaai met grondbewerking. Is deze goed, kies dan voor doorzaai van grasland.
- Een slechte vochtaanvoer naar de graszaden is vaak de oorzaak van het mislukken van doorzaai. Let er daarom op dat de bodem voldoende vochtig is, en houdt de weersvoorspelling in de gaten.
- Om het verlies van organische stof als gevolg van herinzaai met ploegen goed in kaart te krijgen, is bemonstering tot de ploegdiepte nodig.

1.10.2.8 Ontlast de bodem

Wat is bodemontlasting?

Het doel van bodemontlasting is om de bodemstructuur zoveel mogelijk te sparen door aanpassingen in het bedrijfsmanagement en aan machines.

Wat zijn de voordelen?

- Bij een goede bodemstructuur is het opbrengstniveau, de kwaliteit en de nutriëntenbenutting van grasland en snijmaïs beter.
- Bij snijmaïs kan de opbrengstderving als gevolg van verdichting al snel 2 tot 3 ton drogestof bedragen. Dit komt overeen met een financiële opbrengstderving van € 370 tot € 560 per hectare. In een droog seizoen kan de opbrengstderving zelfs oplopen tot 6 ton per hectare.
- Op grasland kan de opbrengst als gevolg van een dichtgereden grond met 1,5 ton per jaar dalen, wat overeenkomt met een financiële schade van € 280 per hectare.
- Door ontlasting van de bodem hoeft grasland minder vaak heringezaaid te worden, wat kostenbesparing en behoud van organische stof met zich mee brengt. Een reductie van de herinzaaifrequentie van eens in de vijf jaar tot eens in de acht jaar scheelt per jaar € 60 tot € 110 aan directe kosten per hectare.

Beperkingen

- Preventie van bodemverdichting vraagt zorg en toewijding, en vooral geduld.
- Sommige maatregelen (speciale banden) kunnen op korte termijn kostenverhogend zijn.

Praktijktips

- Wees in het voorjaar geduldig en berijd de grond alleen als de omstandigheden het toelaten.
- Kies voor een lage bandenspanning (0.8 bar in het voorjaar en 1.0 in de zomer) en gebruik wanneer nodig brede banden of dubbellucht.
- Maak duidelijke afspraken met de loonwerker.
- Dien op kwetsbare bodems drijfmest toe met sleepslangen.
- Hou de koeien binnen als een weideperceel te nat is, of zet ze op een perceel dat minder gevoelig is voor vertrapping.
- Kies voor een tijdig afrijpend ras snijmaïs; dit kan voorkomen dat de maïs onder ongunstige omstandigheden geoogst moet worden.

1.10.2.9 Raadpleeg een bodemexpert

Bij problemen, waarvan niet duidelijk is hoe ze veroorzaakt worden of opgelost kunnen worden, is het raadzaam een praktische bodemexpert te raadplegen. Deze gaat met de veehouder de situatie ter plekke bekijken, graaft een profielkuil, en stelt vragen over het gebruik van het perceel. Op basis daarvan adviseert hij een aanpak, die moet leiden tot oplossing van de problemen. Na verloop van tijd wordt beoordeeld of de gevolgde aanpak tot verbetering leidt, of dat de aanpak bijgesteld moet worden.

1.10.3 Blijvend grasland woelen om bodemverdichting op te heffen

Bodemverdichting kan de opbrengst van blijvend grasland verminderen door negatieve effecten op de beworteling en de activiteit van het bodemleven. Hierdoor kan de opname van nutriënten, zoals stikstof (N), negatief beïnvloed worden, en daarmee ook de benutting van meststoffen. Door een slechtere beworteling kan ook de droogtegevoeligheid van het grasland toenemen, waardoor de botanische samenstelling kan verslechteren en het grasland eerder vernieuwd moet worden. Vanwege de kans op negatieve effecten is het belangrijk om bodemverdichting te voorkomen en waar aanwezig op te heffen.

Bodemverdichting in de bouwvoor (0-30 cm) wordt traditioneel opgeheven door het grasland te ploegen en opnieuw in te zaaien. Deze methode is ingrijpend en heeft belangrijke nadelen, zoals relatief hoge kosten, verlies van organische stof, verlies van nutriënten en verlies van bodembiodiversiteit. Een minder ingrijpende maatregel is het woelen van grasland. Hierbij wordt de bodem met een graslandwoeler tot bouwvoordiepte opgetild en weer neergelaten, waarbij de graszode intact blijft. Door de ontstane golfbeweging breken storende lagen en verdichte stukken grond in kleinere delen, waardoor de bodemstructuur verbetert.

Bij voldoende effectiviteit kan woelen mogelijk toegepast worden als een onderhoudsmaatregel om de levensduur van blijvend grasland te verlengen. Woelen van blijvend grasland wordt in Nederland nog weinig toegepast en is onder Nederlandse omstandigheden nog weinig onderzocht. In 2014 werd daarom onderzoek gestart naar het effect van woelen op blijvend grasland. In voorjaar en najaar 2014 werden veldjes op een perceel matig verdicht blijvend grasland op een zandgrond in Noord-Brabant eenmalig gewoeld tot een diepte van 25 cm.

Uit de waarnemingen tijdens de proef en bij ander onderzoek zijn de volgende aanbevelingen gedaan voor het woelen van grasland op zandgrond:

- **Beoordeel eerst de mate van verdichting** bijvoorbeeld visueel (regelmatig plassen op het land, lichtgeel gras in het najaar door een geremde mineralisatie van organische N in de bodem), met behulp van een penetrometer (sterke verdichting treedt meestal op bij waarden in een vochtige bodem boven de 300 N (conus van 1 cm²)), en/of door een kuil te graven en de bodemstructuur, beworteling en het bodemleven te beoordelen.
- **Woel alleen volvelds als de bodem sterk verdicht is** en dit duidelijk zichtbaar is. Bij matige verdichting lijkt woelen weinig zin te hebben; de bodemstructuur verbetert wel maar dit heeft bij de huidige bemestingsniveaus geen positieve gevolgen voor gras-of eiwitopbrengst en levert daarmee geen financiële meerwaarde op.
- **Woelen van alleen de bouwvoor is minder zinvol bij verdichting van de ondergrond.** Woelen van zowel de bouwvoor als de ondergrond heeft dan de voorkeur.
- **Een geschikte woeldiepte is 25 cm** in het geval van verdichting in de bouwvoor. Dieper woelen vereist meer trekkracht en kans op schade aan de zode neemt toe. Een geschikte afstand tussen de woelpoten is 50 cm. Het gebruik van erg brede beitels (zoals in dit onderzoek) lijkt niet nodig; in onderzoek uit Nieuw-Zeeland hadden brede beitels (310 mm) geen groter effect dan smalle (51 mm).
- **Woel alleen als de bodem goed vochtig is** en er bij voorkeur ook regen verwacht wordt. Woelen bij droge grond of vlak voor een droogteperiode kan (grote) schade aan de zode geven.
- **Eind september woelen** lijkt het meest geschikte tijdstip. Na woelen kan er dan nog sprake zijn van voldoende wortelgroei, terwijl de gemiste opbrengst relatief klein is. Er kan ook op andere tijdstippen in het jaar gewoeld worden, mits de bodem voldoende vochtig is. Weliswaar kan de opbrengst dan tijdelijk dalen, maar de resultaten van dit onderzoek laten zien dat dit later weer gecompenseerd wordt. Woelen in het voorjaar lijkt minder wenselijk; er is een verhoogd risico op opbrengstderving in de belangrijke eerste snede en daarnaast kan de bodemstructuur bij het maaien nog te los zijn.
- **Stop tijdig met stikstofbemesting** bij woelen eind september; eind juli lijkt daarvoor een goed moment. Tijdig stoppen leidt ertoe dat het gras nog voldoende tijd heeft om de meeste minerale N uit de bodem op te nemen, waardoor er na het woelen minder minerale N kan uitspoelen als gevolg van een verhoogde mineralisatie.
- **Gebruik een voldoende zware trekker**, zowel wat betreft pk's als gewicht. Bij een lichte trekker treedt eerder wielslip op, waardoor schade aan de zode ontstaat. Als er toch sprake is van wielslip, verlaag dan de rijsnelheid. Datzelfde geldt ook als de graszode teveel losgetrokken wordt.
- **Woel een perceel bij voorkeur in de rijrichting.** Dit voorkomt dat daarna steeds over hobbels gereden wordt. Bij woelen dwars op de rijrichting ontstaat daarnaast eerder schade aan de zode; op plekken met spoorvorming wordt deze sneller losgetrokken. Dwars op de rijrichting woelen was in het gerapporteerde onderzoek alleen nodig vanwege de vereisten voor een goede proefuitvoer.
- Eventuele **doorzaai kan het beste vóór het woelen uitgevoerd worden**; bij de omgekeerde volgorde gaat een deel van de gerealiseerde structuurverbetering weer verloren vanwege het opnieuw berijden bij het doorzaaien. Het combineren van beide werkzaamheden heeft, indien mogelijk, de voorkeur.

De onderzoeksresultaten staan in het rapport '[Woelen van blijvend grasland op een zandgrond: effecten op bodemstructuur, beworteling en grasopbrengst](#)' uit het project [Duurzaam grasland beluchten](#). Zie ook het project [Grasland woelen op kleigrond](#).

1.11 Organische stof

Het organische stof (OS) gehalte in de bodem is van belang voor een aantal eigenschappen van een bodem. Het vochthoudend vermogen, de structuur en bewerkbaarheid en de nalevering van nutriënten worden beïnvloed door het OS gehalte. Een te laag gehalte is nadelig voor deze eigenschappen. Het is echter niet “hoe hoger hoe beter”: wanneer het OS-gehalte voldoende hoog is, is er geen voordeel meer om naar een hoger OS-gehalte te streven. Mogelijk kan dit zelfs nadelig zijn omdat door mineralisatie nutriënten, met name stikstof, op een moment vrijkomen dat het gewas het niet opneemt en vervolgens kunnen die uit- of afspoelen naar het grond- of oppervlaktewater.

Organische stof in een bodem is dynamisch. Door gewasresten als wortels en stoppels en met organische mest wordt er OS aan bodems toegevoegd en door gebruik van de grond breekt er OS af. Blijvend grasland is over het algemeen goed in staat om zelf het OS-gehalte op peil te houden door de hoge turn-over van wortel- en stoppelmateriaal en omdat het gebruikelijk is om jaarlijks organische mest toe te dienen. Het OS-gehalte van bouwland vraagt echter meer aandacht omdat bij akkerbouwgewassen er na de oogst over het algemeen niet voldoende OS achterblijft om de afbraak te compenseren.

Verhoging van het OS-gehalte van een bodem is lastig en neemt meerdere jaren tot decennia in beslag. Dit komt omdat OS uit gewasresten en organische mest voor een groot deel snel weer afbreekt, slechts een deel is een jaar nadat het is toegevoegd nog aanwezig in een bodem. Om de hoeveelheid OS aan te duiden die na minimaal één jaar nog teruggevonden wordt in een bodem, wordt in Nederland de term Effectieve Organische Stof (EOS) gebruikt.

Om na te gaan of er voldoende EOS aan een bodem wordt toegevoegd om het OS-gehalte te onderhouden, kan men een organische stofbalans opstellen. Kortweg is dat : $\text{EOS-balans} = \text{EOS aanvoer} - \text{EOS afbraak}$.

Hoeveel EOS er afgebroken wordt is afhankelijk van de aard van de organische stof, de grondsoort, het lutumgehalte, de hoogte van het organische-stofgehalte, de C/N-verhouding, de ouderdom van de organische stof, de ontwateringstoestand van het perceel en de pH van de grond. Op dit moment zijn er nog geen exacte getallen beschikbaar voor de grootte van de invloed. Voorlopig kan uitgegaan worden van een **afbraak van 2000 kg OS per ha per jaar**.

De hoeveelheid EOS die toegevoegd wordt aan een bodem vanuit gewasresten, groenbemesters en organische mestsoorten is vermeld in de tabellen 1.16, 1.17 en 1.18. In de tabellen staat een selectie van gewassen. De getallen zijn overgenomen uit het Handboek bodem en bemesting (www.Handboekbodemenbemesting.nl).

Tabel 1.16 Aanvoer verse organische stof (OS) en effectieve organische stof (EOS) uit gewasresten

Gewas	OS (kg/ha)	HC ¹ (fractie)	EOS (kg/ha)
Grasland, eenjarig	4000	0,29	1175
Grasland, tweejarig	8000	0,32	2575
Grasland, driejarig	12000	0,33	3975
Graszaad, 1e jaars Engels raai	6000	0,29	1750
Graszaad, 2e jaars Engels raai	7150	0,30	2150
Haver, stro afgevoerd	5000	0,31	1570
Haver, stro achtergelaten	8000	0,31	2470
Korrelmais	7000	0,31	2175
Luzerne, eenjarig	3000	0,45	1350
Luzerne, tweejarig	5000	0,41	2050
Snijmais	2000	0,34	675
Triticale	5000	0,31	1570
Tulp (excl. strodek)	1700	0,30	505
Wintergerst, stro afgevoerd	5000	0,31	1570
Wintergerst, stro achtergelaten	7600	0,31	2350
Winterrogge, stro afgevoerd	4800	0,31	1500
Winterrogge, stro achtergelaten	8200	0,31	2520
Wintertarwe, stro afgevoerd	5200	0,32	1640
Wintertarwe, stro achtergelaten	8500	0,31	2630
Zomergerst, stro afgevoerd	4200	0,31	1310
Zomergerst, stro achtergelaten	6300	0,31	1940
Zomertarwe, stro afgevoerd	5200	0,31	1630
Zomertarwe, stro achtergelaten	8400	0,31	2590

¹ HC=humificatiecoëfficiënt: de fractie die één jaar na toediening van het vers materiaal nog over is in de bodem

Bron: www.Handboekbodemenbemesting.nl

Tabel 1.17 Aanvoer verse organische stof (OS) en effectieve organische stof (EOS) uit goed ontwikkelde, ingewerkte groenbemester (gezaaid vóór 1 september)

Groenbemester	OS (kg/ha)	HC ¹ (fractie)	EOS (kg/ha)
Bladrammenas	3800	0,23	875
Gele mosterd	3800	0,23	875
Bladkool	3600	0,24	850
Engels raaigras	4250	0,27	1155
Italiaans raaigras	4200	0,26	1100
Westerwolds raaigras	4000	0,26	1050
Winterrogge	3200	0,26	840
Rode klaver	4100	0,27	1100
Witte klaver	3100	0,27	850
Perzische klaver	3400	0,24	800
Wikken	2800	0,23	650
Facelia	2750	0,24	650
Afrikaantjes	3850	0,22	850
Spurrie	2900	0,22	625

¹ HC=humificatiecoëfficiënt: de fractie die één jaar na toediening van het vers materiaal nog over is in de bodem

Bron: www.Handboekbodemenbemesting.nl

Tabel 1.18 Aanvoer verse organische stof (OS) en effectieve organische stof (EOS) uit organische mest

Mest	OS (kg/ton)	HC ¹ (fractie)	EOS (kg/ton)	² EOS/P ₂ O ₅ (kg/kg)
Drijfmest				
Rundvee	71	0,70	50	33
Vleesvarkens	79	0,33	26	7
Zeugen	25	0,34	9	3
Rosékalveren	71	0,70	50	19
Witvleeskalveren	17	0,70	12	11
Vaste mest				
Rundvee grupstal	155	0,70	109	25
Varkens (stro)	153	0,33	50	6
Pluimvee	416	0,33	137	6
Pluimvee + nadroog	393	0,33	130	5
Kippenstrooiselmest	359	0,34	122	5
Vleeskuikens + parelhoen	419	0,36	151	9
Vleeskalkoenen	427	0,36	154	8
Schapen	195	0,70	137	30
Geiten	174	0,70	122	23
Compost				
Champost	211	0,50	106	24
GFT-compost	242	0,90	218	45
Groencompost	179	0,90	161	73

¹ HC=humificatiecoëfficiënt: de fractie die één jaar na toediening van het vers materiaal nog over is in de bodem

² EOS aanvoer (kg) per kg fosfaat in de mest

Bron: www.Handboekbodemenbemesting.nl

Wanneer de EOS-aanvoer te laag is, zijn er de volgende mogelijkheden om de EOS-aanvoer te verhogen:

- Dierlijke mest met een laag gehalte aan EOS per kg fosfaat vervangen door dierlijke mest met een hoger gehalte, bijvoorbeeld de vervanging van varkensdrijfmest door runderdrijfmest. Knelpunt is vaak de beschikbaarheid van meststoffen met een hoger gehalte;
- Dierlijke mest vervangen door compost of champost. Knelpunt ook hier is de beschikbaarheid van deze meststoffen. Daarnaast moet voor compost worden betaald en is vanwege de lage stikstofwerking extra stikstofruimte nodig;
- Meer (goed ontwikkelde) groenbemesters telen. Knelpunt is vaak het gebrek aan ruimte in een vruchtwisseling om nog een goede groenbemester te kunnen telen. Mais wordt vaak te laat geoogst om nog een geslaagde groenbemester in te zaaien;
- Voedergewassen verbouwen in vruchtwisseling met gras;
- Gebruiken van andere organische bronnen van het bedrijf op de percelen zoals berm- en slotmaaisel en snoeiafval, eventueel na compostering.