WORTELMEDIA

Eerste uitgave

J.A. Kipp
G. Wever

Naaldwijk
Maart 1993

INHOUD

		Pagina
1.	INLEIDING	1
2.	TRANSPORTPROCESSEN	3
2.1.	Lucht- en waterhuishouding	3
2.2.	Warmtehuishouding	4
3.	WORTELFYSIOLOGIE	5
3.1.	Worteladembaling	5
3.2.	Wateropname	6
3.3.	Temperatuur	7
4.	FYSISCHE EIGENSCHAPPEN	8
4.1.	Vochtgehalte	8
4.1.1.	Bepaling van het vochtgehalte	8
4.1.2.	Normen voor vochtgehalte	8
4.2.	Organische stofgehalte	8
4.2.1.	Bepaling organische stofgehalte	9
4.2.2.	Normen organische stofgehalte	9
4.3.	Dichtheid van de vaste fase en bulkdichtheid	9
4.3.1.	Bepaling dichtheid van de vaste fase en bulkdichtheid	9
4.3.2.	Normen voor dichtheid voor de vaste fase en bulkdichtheid	10
4.4.	Water- en luchtverdeling	11
4.4.1.	Bepaling van de water- en luchtverdeling	15
4.4.2.	Normen water- en luchtverdeling	16
4.5.	Overige fysische eigenschappen	17
5.	WORTELMEDIA	19
5.1.	Kokos	19
5.2.	Fenolhars	21
5.3.	Glaswol	22
5.4.	Houtvezel	23
5.5.	Kleikorrel	24
5.6.	Lava	25
5.7.	Perliet	27
5.8.	Poly-urethaan	28
5.9.	Puimsteen	29
5.10.	Steenwol	30

5.11. Steenwolgranulaat 32
5.12. Veen 33
5.13. Vermiculiet 34
5.14. Zand 35
5.15. Overige substraten 37
5.15.1. Kunststoffen 37
5.15.2. Organische produkten 37

6. VERDAMPING EN WATERVOORRAAD 39

6.1. Verdamping 39
6.2. Watervoorraad 40

LITERATUURLIJST 45

BIJLAGE: FYSISCHE EIGENSCHAPPEN VAN DIVERSE SUBSTRATEN 47

1. INLEIDING

De belangstelling voor substraten is recent enorm gegroeid. Dit wordt mede veroorzaakt door de druk vanuit de overheid om binnen afzienbare tijd glasteelten mogelijk alleen in gesloten systemen toe te laten. Daarnaast kan in substraten de groei en produktie van gewassen beter gemanipuleerd worden. Telen op substraat geeft de tuinder bij de substraatkeuze, de mogelijkheid fysische eigenschappen grotendeels zelf te kiezen. Fysische eigenschappen bepalen bijvoorbeeld de draagkracht, de water- en voedingsstoffenbuffer, de zuurstofvoorziening van de wortels, enzovoort.

Optimalisatie van het wortelmilieu kan alleen worden bereikt als zuurstof, water en meststoffen voldoende en in de juiste verhouding aanwezig én voor de plant beschikbaar zijn. Het blijkt echter dat een wortelsysteem zich kan aanpassen aan suboptimale omstandigheden zeker als de veranderingen langzaam verlopen. Dit kost energie en heeft meestal ook een (tijdelijk) verminderde werking van de wortels tot gevolg. Dit kan worden voorkomen door het wortelmilieu zo constant mogelijk te houden. Daarvoor is inzicht nodig in de ruimtelijke verdeling van lucht, water en opgeloste stoffen gedurende een teelt en dus in transportprocessen. In de hoofdstukken 2 en 3 wordt hierop kort ingegaan.

In de afgelopen periode is op het PTG veel onderzoek uitgevoerd naar de fysische eigenschappen van wortelmedia. Hoofdstuk 4 gaat in op de verschillende fysische eigenschappen. In hoofdstuk 5 worden per substraat de belangrijkste fysische eigenschappen beschreven. Het laatste hoofdstuk behandelt de watervoorraad van substraten in relatie tot het waterverbruik van verschillende gewassen.

Momenteel worden methoden ontwikkeld waarmee verschillende eigenschappen gemeten kunnen worden. Enkele meetmethoden zijn reeds toepasbaar en zullen in deze brochure worden beschreven. Voor een aantal eigenschappen is een meetmethode nog in ontwikkeling. Er is echter besloten deze brochure nu al uit te geven en niet te wachten tot alle eigenschappen eenduidig kunnen worden vastgelegd. De brochure zal in de komende jaren dan ook worden aangevuld.

In deze brochure wordt vooral aandacht besteed aan wortelmedia anders dan potgronden. Over deze laatste is reeds een brochure verschenen (Richtlijnen voor de produktie van potgronden en substraten, brochure 73).

2. TRANSPORTPROCESSEN

2.1. Lucht- en waterhuishouding

De luchthuishouding van het wortelmilieu is de mate waarin er gassen in het wortelmilieu worden verbruikt of geproduceerd en er transport van die gassen optreedt. De belangrijkste gebruikers van zuurstof (O_2) en producenten van koolzuurgas (CO_2) zijn de wortels en de micro-organismen.
Wortels gebruiken zuurstof voor groei en onderhoud van het wortelstelsel en de actieve opname van water en voedingsionen. Hierbij wordt koolzuurgas geproduceerd. De CO_2-concentratie neemt dus toe en de O_2-concentratie af. Om zuurstofgebrek in het wortelmilieu te voorkomen zullen daarom zuurstof en koolzuurgas met de kaslucht moeten worden uitgewisseld. Dit gebeurt hoofdzakelijk door diffusie. Luchtverplaatsing door watergeven heeft maar een gering effect op de gasuitwisseling.

De drijvende kracht achter diffusie is een plaatselijk optredend concentratieverschil van de verschillende componenten van het gasmengsel. Als het zuurstofgehalte in het wortelmilieu afneemt (en dus de CO_2-concentratie oploopt) zal door diffusie O_2 vanuit de lucht naar het wortelmilieu worden getransporteerd. Bij een gelijkblijvende totale luchtdruk zal CO_2-transport in omgekeerde richting plaatsvinden. De snelheid van het diffusietransport hangt af van de grootte van het concentratieverschil, de hoeveelheid en grootte van de doorlopende poriën (holten) en hoeveel van die poriën met water gevuld zijn. De diffusiesnelheden van O_2 en CO_2 in lucht zijn namelijk vele malen groter dan die in water (300.000 respectievelijk 10.000 keer). Voor een goede zuurstofvoorziening van de wortels dient daarom gasdiffusie door water tot een minimum beperkt te blijven. Dit is het geval als doorlopende met luchtgevulde poriën vanaf het oppervlak tot aan de wortels aanwezig zijn. Zuurstoftransport door water vindt dan alleen plaats in de dunne waterlaag rond de wortels.

Water speelt een belangrijke rol bij de groei van planten. In deze brochure zal voornamelijk worden ingegaan op de invloed die water heeft op de fysische eigenschappen van wortelmedia en de functie van water als transportmiddel van opgeloste voedingsionen naar de wortels. Daarnaast zal in hoofdstuk 6 nog de watervoorraad van verschillende substraten worden besproken in relatie tot het waterverbruik van gewassen.
Een aantal fysische eigenschappen, zoals structuur, draagkracht en warmte-eigenschappen, zijn afhankelijk van het vochtgehalte. In beschermde teelten wordt dagelijks water al dan niet in combinatie met voedingsstoffen toegediend. Het watertransport en de -verdeling in wortelmedia spelen dan ook een belangrijke rol bij een optimale voorziening van water en voedingsionen van de wortels.
In het wortelmilieu komt geen zuiver water voor maar een oplossing van zouten, die een bepaalde osmotische waarde heeft. Tezamen met de adhesie- en capillaire krachten bepaalt dit de binding van water in het substraat. De sterkte van deze binding is van belang wanneer we willen weten hoeveel water voor de plant opneembaar is en welke kracht de plant moet overwinnen om het water op te nemen. De relatie tussen de binding van water en het vochtgehalte, alsmede de beschikbaarheid van water voor planten wordt in hoofstuk 4 verder behandeld.

2.2. Warmtehuishouding

Omdat de meeste substraatsystemen boven de grond liggen, zal het temperatuurverloop in het wortelmilieu anders zijn dan in de grond. Bij substraatteelt zal in het algemeen de temperatuur in het wortelmilieu hoger oplopen dan bij de grondteelt. Dit wordt voornamelijk veroorzaakt doordat warmtetransport van het substraat naar de diepere ondergrond niet of moeilijk kan plaatsvinden.
Voor een aantal gewassen (bijvoorbeeld freesia) is het noodzakelijk de temperatuur in het wortelmilieu te sturen. Dit gebeurt met een buizensysteem. De dimensionering van zo'n systeem hangt nauw samen met de warmte-eigenschappen van het wortelmedium. Inzicht in de warmte-eigenschappen van substraten is dan ook noodzakelijk om efficiënt van deze techniek gebruik te maken. Bij een klein aantal substraten zijn metingen gedaan in België door Ledieu. Op het PBN wordt momenteel een model ontwikkeld waarmee de opwarming dan wel de koeling door middel van een buizensysteem kan worden voorspeld.

Met stomen is al veel ervaring opgedaan in grond. Recent is een brochure over dit onderwerp uitgegeven door het IKC waarin echter niet op de fysische aspecten van stomen wordt ingegaan. Momenteel wordt onderzoek gedaan naar methoden om substraten ter plekke te stomen. Belangrijk hierbij is dat de stoom alle plekken bereikt, zodat overal hoge temperaturen bereikt worden. Verder wordt getracht door middel van het meten van de warmte-eigenschappen en het rekenen met modellen meer inzicht in het warmtetransport te krijgen. Op deze manier kunnen in de toekomst voorspellingen over warmtegedrag van substraten bij stomen worden gedaan.

3. WORTELFYSIOLOGIE

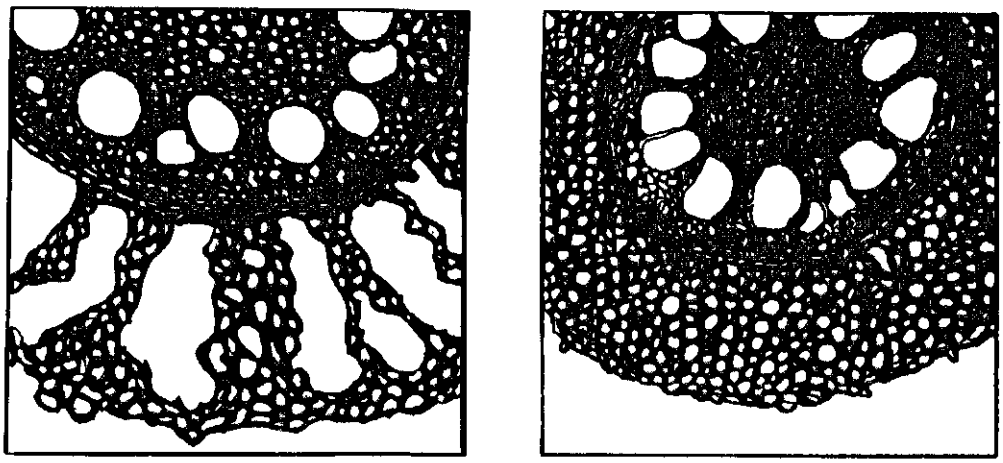
3.1. Worteladembaling

De zuurstofbehoefte is afhankelijk van de plantesoort. Voor een aantal gewassen is de worteladembaling gemeten, zie tabel 3.1.
Naast moeras- en waterplanten, kunnen ook sommige landplanten onder zuurstofarme omstandigheden in het wortelmilieu blijven functioneren. Het blijkt dat deze planten luchtkanalen kunnen aanleggen. Hierdoor kan zuurstof via de bovengrondse delen naar de wortels getransporteerd worden. Deze eigenschap kan worden gemeten door planten onder zowel zuurstofarme als -rijke omstandigheden op te kweken en van beide planten het luchtgevulde poriënvolume van de wortels (de wortelporositeit) te bepalen (zie figuur 3.1.). Het mechanisme achter de vorming van luchtkanalen is nog niet geheel duidelijk, maar hangt onder andere samen met een verhoogde ethyleenvorming. Ethyleen hoopt zich onder zuurstofarme omstandigheden in de wortels op, waardoor celwanden op kunnen lossen en luchtkanalen ontstaan.

Tabel 3.1. Worteladembaling van een aantal gewassen.

Gewas	Worteladembaling mg O_2.gram drogestof^{-1}.uur^{-1}
Anjer	3.5 - 3.9
Aster	1.6 - 5.9
Chrysant	6.9 - 9.1
Ficus benj.	2.8 - 5.2
Gerbera	1.9 - 2.4
Potgerbera	1.4 - 1.7
Schefflera	1.7 - 2.6
Tomaat	6.7

Bron: R. Baas, PBN-Aalsmeer



Figuur 3.1. Wortel met (l) en zonder (r) luchtkanalen.

Het Instituut voor Bodemvruchtbaarheid en het PBN hebben porositeitsmetingen uitgevoerd (zie tabel 3.2.). Theoretische berekeningen laten zien dat de zuurstofaanvoer via luchtkanalen kan oplopen tot 80% van het totale zuurstofverbruik. Of dit onder zuurstofarme omstandigheden ook werkelijk het geval is, dient nog nader te worden onderzocht. Bovendien is het niet duidelijk of de wortels onder deze omstandigheden optimaal kunnen functioneren.

Een andere methode die zuurstoftekort in de wortels kan aantonen is de bepaling van de activiteit van alcoholdehydrogenase (ADH). Dit is één van de enzymen die in de wortel gevormd worden bij oxydatie van glucose onder zuurstofarme omstandigheden. Combinatie van een ADH-bepaling met een wortelporositeitsbepaling geeft inzicht in de mate van zuurstofgebrek die in het wortelmilieu optreedt en het vermogen van de plant om zich aan veranderende omstandigheden aan te passen. Helaas ontbreken nog teveel gegevens om nu al aan te geven hoe de zuurstofvoorziening van verschillende gewassen verzorgd dient te worden. Tot die tijd zullen we ons moeten behelpen met vuistregels.

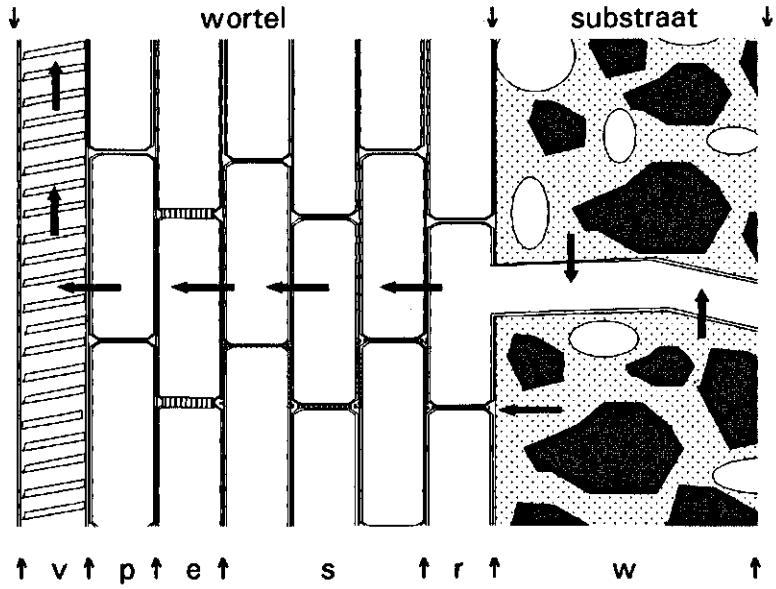
Tabel 3.2. De wortelporositeit van een aantal gewassen onder verschillende omstandigheden in watercultuur.

Gewas	Wortelporositeit (%)		
	belucht	onbelucht	eb-vloed
Anjer	1	1	-
Aster	6	7	-
Chrysant	2.9	4.5	3.1
Gerbera	3	8.4	-
Roos	4.3	8.3	4.5
Tomaat	2	8	-

Bron: PBN-Aalsmeer en IB-Haren

3.2. Wateropname

De wortel neemt water op door de wortelwand of via wortelharen (zie figuur 3.2.). Het water komt dan eerst in de rhizodermis en wordt vervolgens onder invloed van osmotische krachten verder getransporteerd door de wortelschors en de centrale cylinder.
De wateropname door de wortels wordt door twee processen gestuurd. De belangrijkste drijvende kracht is de verdamping. Doordat het water via de huidmondjes verdwijnt neemt de osmotische waarde van het plantsap in het blad toe. Hierdoor ontstaat een groot verschil tussen de energietoestand van het water in het blad en in de wortels, zodat water van de wortels naar het blad wordt getransporteerd. Daarnaast vindt er actieve opname plaats. In tegenstelling tot de verdamping kost dit de plant energie. Dit proces kan worden worden waargenomen wanneer in het voorjaar een nog bladloze berk wordt afgezaagd. Er verzamelt zich dan veel vocht op het zaagvlak.



Figuur 3.2. Wateropname in de wortel. De wortelhaar ligt tussen substraatdeeltjes (gearceerd) en luchtbellen (wit). De tussenruimtes zijn met water (gestippeld) gevuld. Het water gaat in de richting van de pijlen door de cellen heen. De gestippelde lijn geeft het transport door de celwanden aan.

3.3. Temperatuur

De temperatuur kan de wortelgroei sterk beïnvloeden. Bij verschillende gewassen is een verhoogde wortelgroei gevonden wanneer de temperatuur in het wortelmilieu werd verhoogd. Daarnaast heeft de temperatuur invloed op de zuurstofbeschikbaarheid, de groeisnelheid van (micro)organismen en de opnamesnelheden van ionen. Wat de effecten hiervan zijn op de groei en produktie van gewassen is nog volop in onderzoek.

4. FYSISCHE EIGENSCHAPPEN

Fysische eigenschappen zijn alle eigenschappen, die ontstaan uit de ruimtelijke opbouw van het substraat en het soort materiaal. Deze eigenschappen zijn voor de praktijk van belang, omdat ze informatie geven over onder andere de doorwortelbaarheid, het gewicht, de stabiliteit, de interne binding (cohesie) en hoe water gegeven moet worden.
Fysische eigenschappen kunnen (visueel) worden geschat, maar tegenwoordig worden ze veelal exact gemeten. De belangrijkste metingen zijn: vochtgehalte, organische stofgehalte, dichtheid van de vaste fase, bulkdichtheid, porositeit en vochtkarakteristiek. Deze worden hierna besproken. In de laatste paragraaf komen eigenschappen aan bod waaraan nog weinig metingen zijn gedaan. Het gaat om waterdoorlatendheid, fractieverdeling, hardheid, elasticiteit en cohesie.

4.1. Vochtgehalte

Het vochtgehalte van een substraat geeft aan hoeveel water er aanwezig is. Ook kan eruit bepaald worden hoeveel droge stof er in een produkt zit. Uit het vochtgehalte en de bulkdichtheid kan berekend worden hoeveel 1 m^3 vers materiaal weegt.

4.1.1. Bepaling van het vochtgehalte

Het vochtgehalte wordt bepaald door een hoeveelheid vers substraat te drogen bij 105°C. Hierdoor verdwijnt het vocht en door weging kan dan het vochtgehalte berekend worden. Vocht wordt als fractie weergegeven (gram per gram versgewicht) of in gewichtprocenten (dit is de fractie maal 100). Het vochtgehalte kan ook als volumepercentage weergegeven worden. Verder kan het vochtgehalte nog uitgedrukt worden als watergetal. Dit is de hoeveelheid vocht per gram droge stof.

4.1.2. Normen voor vochtgehalte

Voor potgrond en veen bestaat er een norm voor het vochtgehalte. Deze moet kleiner zijn dan 80% (gewicht) bij aflevering. Als potgrond of veen een hoger vochtgehalte heeft is het produkt te nat en niet meer verwerkbaar. Voor andere substraten is er momenteel geen norm. Het is echter wel van belang het vochtgehalte goed te bezien als het materiaal op gewichtsbasis gekocht wordt.

4.2. Organische stofgehalte

Het organische stofgehalte geeft aan welk deel van de droge stof organisch is en dus niet mineraal.

4.2.1. Bepaling organische stofgehalte

Voor de bepaling van het organische stofgehalte wordt gedroogd substraat gebruikt. Het substraat wordt in een oven geplaatst bij 600°C. Bij deze temperatuur verbrandt de organische stof en blijft alleen as (de minerale delen) over. Door het substraat voor en na verassen te wegen kan het organische stofgehalte berekend worden. Organische stof wordt als fractie (f_h) weergegeven ($g.g^{-1}$ droog) of in gewichtsprocenten, dit is de fractie maal 100.

4.2.2. Normen organische stofgehalte

Voor het organische stofgehalte is er voor veen en potgrond een minimum. Tevens zijn er voor potgrond per potgrondsoort verschillende waarderingen voor het organische stofgehalte.
Voor andere substraten zijn er geen normen. Van belang is dat minerale substraten, zoals kleikorrels en steenwol, een laag organische stofgehalte hebben. Is dit niet het geval dan is er iets vreemds aan de hand, het materiaal is dan bijvoorbeeld vervuild. Bij organische produkten, zoals houtvezel en kokos, is uiteraard het omgekeerde het geval. Als hier het organische stofgehalte laag is is dit verdacht.

4.3. Dichtheid van de vaste fase en bulkdichtheid

De dichtheid van de vaste fase, ook wel volumieke massa genoemd, is gedefinieerd als de massa per volume-eenheid en wordt uitgedrukt in $kg.m^{-3}$. De dichtheid van de vaste fase is dus de denkbeeldige situatie waarbij het substraat geheel gecomprimeerd is en er geen water of lucht meer aanwezig is in het materiaal. Deze grootheid is van belang voor de berekening van de porositeit en het gewicht van het substraat.
Naast de dichtheid van de vaste fase is er het begrip bulkdichtheid (ρ). Deze geeft aan hoeveel 1 m^3 droog produkt weegt.

4.3.1. Bepaling dichtheid van de vaste fase en bulkdichtheid

De dichtheid van de vaste fase kan op twee manieren bepaald worden: door meting en door berekening. Bij vreemde materialen verdient het aanbeveling de dichtheid van de vaste fase te bepalen; bij bekende materialen kan een berekening gebruikt worden.
Voor meting van de dichtheid van de vaste fase wordt een pyknometer gebruikt. Dit is een glazen flesje met een bekend volume. In dit flesje wordt een hoeveelheid materiaal met een bekend gewicht gebracht en aangevuld met water. Door weging kan dan vastgesteld worden hoeveel volume het te onderzoeken materiaal heeft. Met het gewicht en het volume kan de dichtheid van de vaste fase ($kg.m^{-3}$) berekend worden. Ook bestaat de mogelijkheid om de dichtheid van de vaste fase te bepalen met een luchtpyknometer. Met deze techniek kunnen ook afgesloten poriën onderscheiden worden. Omdat de waarde van de dichtheid van de vaste fase voor de berekening van het poriënvolume (porositeit) gebruikt wordt kan met de luchtpyknometer de beschikbare hoeveelheid poriën voor de wortel worden vastgesteld. Het proefstation in Naaldwijk werkt momenteel aan de ontwikkeling van deze techniek.

Voor potgronden en veen kan de dichtheid berekend worden uit het organische stofgehalte. Dit is mogelijk omdat van veen de dichtheid van de vaste fase van de organisch stof in het algemeen constant is. Voor veenmosveen en tuinturf is de dichtheid van de vaste fase respectievelijk 1580 en 1520 kg.m^{-3}. De dichtheid van de vaste fase van de overige veensoorten ligt tussen deze waarden. Voor de dichtheid van de vaste fase van een veenmengsel wordt voor het organische stofgehalte een gemiddelde waarde van 1550 kg.m^{-3} aangehouden. Voor de minerale delen wordt een gemiddelde van 2650 kg.m^{-3} aangehouden. De dichtheid van de vaste fase van bijvoorbeeld een potgrondmengsel kan de volgende formule berekend worden:

$$\rho_s = \frac{1}{\frac{f_h}{\rho_h} + \frac{1-f_h}{\rho_m}}$$

Waarin ρ_m = 2650 kg.m^{-3} (dichtheid minerale fractie), ρ_h = 1550 kg.m^{-3} (dichtheid organische stoffractie), f_h = organische stoffractie (g.g^{-1})en ρ_s = de dichtheid van de vaste fase (kg.m^{-3}).

De bulkdichtheid en de water- en luchtverdeling worden in één bepaling vastgesteld. Hierbij wordt een cylinder, met een bekend volume, gevuld met substraat. Vervolgens wordt na drogen het monster gewogen. Uiteraard is de uitkomst van deze bepaling sterk afhankelijk van de manier waarop de cylinder gevuld wordt. Zie verder paragraaf 4.4.1.

4.3.2. Normen dichtheid van de vaste fase en bulkdichtheid

Er zijn geen normen voor dichtheid. Wel kan aan de waarde gezien worden wat voor soort produkt het is. Organische stof heeft een lage dichtheid en minerale delen hebben een hoge dichtheid (tabel 4.1.).

Tabel 4.1. De dichtheid van de vaste fase van een aantal materialen.

Materiaal	Dichtheid van de vaste fase (kg.m^{-3})
aluminium	2700
bazalt	2700 - 3200
glas	2600
graniet	2600 - 2700
ijzer	7900
kwarts	2500 - 2800
marmer	2700 - 2900
mica	2800 - 3100
polystyreen	1060
tuinturf	1520
veenmosveen	1580
water	998

Bron: Dean, 1973 en LUW-grondbewerking

Ook voor de bulkdichtheid zijn er geen normen maar de hoogte van de waarde bepaalt heel sterk de hanteerbaarheid van een substraat. Zeker als het substraat regelmatig verplaatst moet worden, zoals bij stomen in een container, is dit een belangrijke parameter (tabel 4.2.).

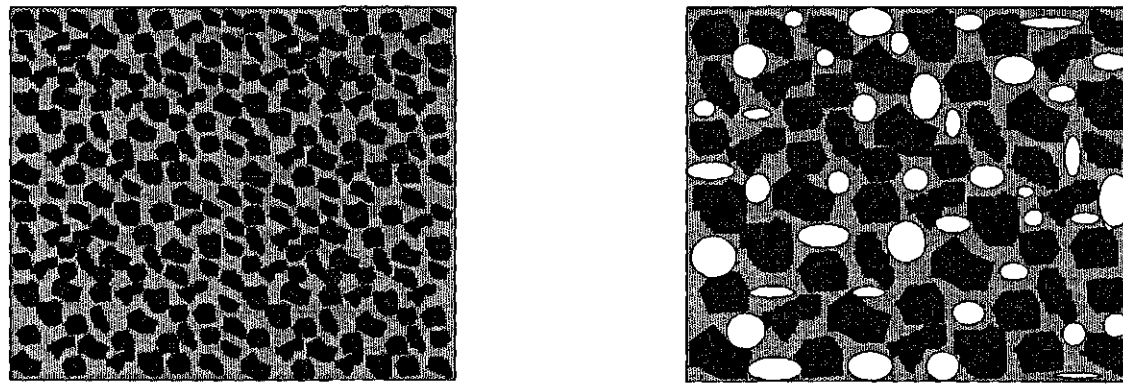
Tabel 4.2. Bulkdichtheid, dichtheid van de vaste fase en poriënvolume van verschillende substraten.

Materiaal	Bulkdichtheid $kg.m^{-3}$	Dichtheid vaste fase $kg.m^{-3}$	Poriën-volume %
Zand	1600	2650	40
Steenwol	80	2650	97
Tuinturf	150	1600	91
Veenmosveen	80	1600	95

4.4. Water- en luchtverdeling

Het poriënvolume is het volume dat water en lucht in een substraat innemen. Het poriënvolume wordt door de dichtheid van de vaste delen en de bulkdichtheid gekarakteriseerd. Zand heeft een lager poriënvolume dan steenwol. Dit kan direct uit tabel 4.2. worden afgeleid. Beide hebben namelijk een dichtheid van de vaste fase van 2650 $kg.m^{-3}$. De bulkdichtheid van zand is echter veel groter, zodat het poriënvolume lager is dan bij steenwol. Ook wanneer van twee materialen de bulkdichtheden gelijk zijn maar de dichtheden van de vaste fase verschillen, bijvoorbeeld steenwol en veenmosveen, kunnen uitspraken over het poriënvolume worden gedaan. Steenwol zal door zijn hogere dichtheid van de vaste fase een hoger poriënvolume hebben dan veenmosveen.
Het poriënvolume bepaalt hoeveel water het substraat maximaal kan bevatten. De werkelijke hoeveelheid water die op een bepaald moment in een substraat aanwezig is wordt bepaald door de bindingskrachten in het substraat en de zwaartekracht. Eén van de bindingskrachten is de adhesie: een zeer sterke aantrekkingskracht die over heel kleine afstanden optreedt. Water gebonden door adhesie, is niet voor de plant beschikbaar. Het gaat hierbij om zeer kleine hoeveelheden. Veel belangrijker zijn de capillaire krachten. Deze krachten zijn sterker naarmate de holtes (poriën) kleiner zijn (zie figuur 4.1.). Dit water is voor de planten beschikbaar, zij het dat hoe kleiner de poriën hoe meer moeite de plant moet doen om dit water op te nemen. Als een substraat droger wordt zal eerst het water uit de grote poriën verdwijnen. Dit water is immers het makkelijkst beschikbaar.

De sterkte waarmee het water in het substraat gebonden is, wordt de drukhoogte (h) genoemd. Het is een maat voor de kracht die moet worden uitgeoefend om water 'los' van het substraat te krijgen. De dimensie van drukhoogte is lengte (bijvoorbeeld cm), wat op zich een onlogische maat lijkt om een energietoestand weer te geven. In het vervolg zal echter duidelijk worden dat deze dimensie voordelen heeft.

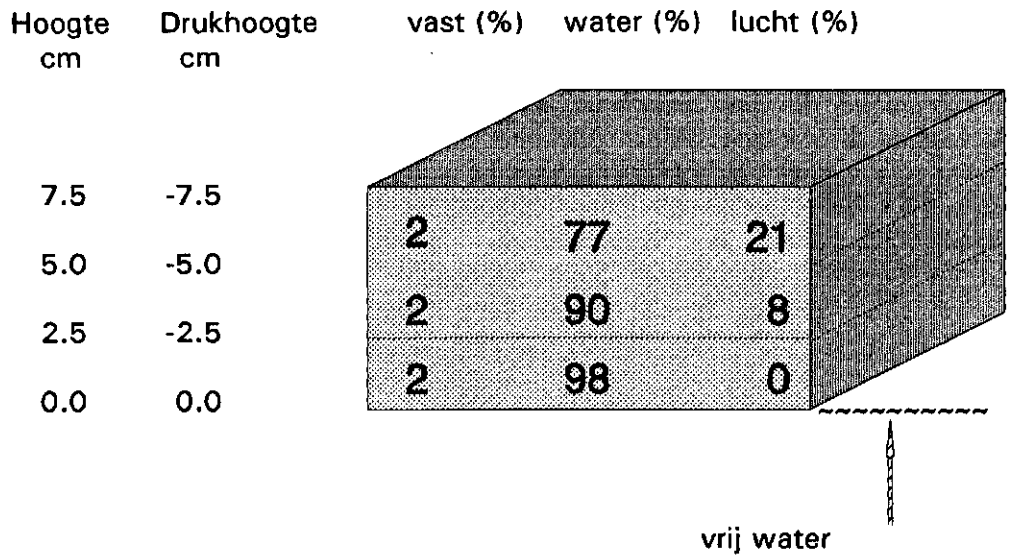


Figuur 4.1. Fijne poriën (l) binden het water sterker dan grove poriën (r), zwart = vast, water = gestippeld, lucht = wit.

Naast de bindingskrachten van het substraat heeft ook de zwaartekracht invloed op het watergehalte. Uit een verzadigd substraat zal het water uitzakken totdat de bindingskrachten het water tegen de zwaartekracht in kunnen vasthouden. Een grof substraat zal na uitlekken veel minder water bevatten dan een fijn substraat. In grote poriën zijn de capillaire krachten kleiner dan de zwaartekracht en het water zal uit het substraat lopen. Aan de onderkant van het substraat is vrij water ofwel de waterspiegel: hier heerst verzadiging. Hoger in het substraat zijn meestal poriën met lucht gevuld; hoeveel hangt af van de poriëngrootteverdeling. Als voorbeeld is in figuur 4.2. de vochtverdeling na uitlekken weergegeven. Bij iedere hoogte in de mat hoort in deze evenwichtssituatie een eigen watergehalte. Op ieder punt boven de waterspiegel heerst ook een andere drukhoogte. Omdat voor de drukhoogte de dimensie lengte is gekozen is de afstand vanaf een punt in het substraat tot de waterspiegel gelijk aan de drukhoogte in dat punt.

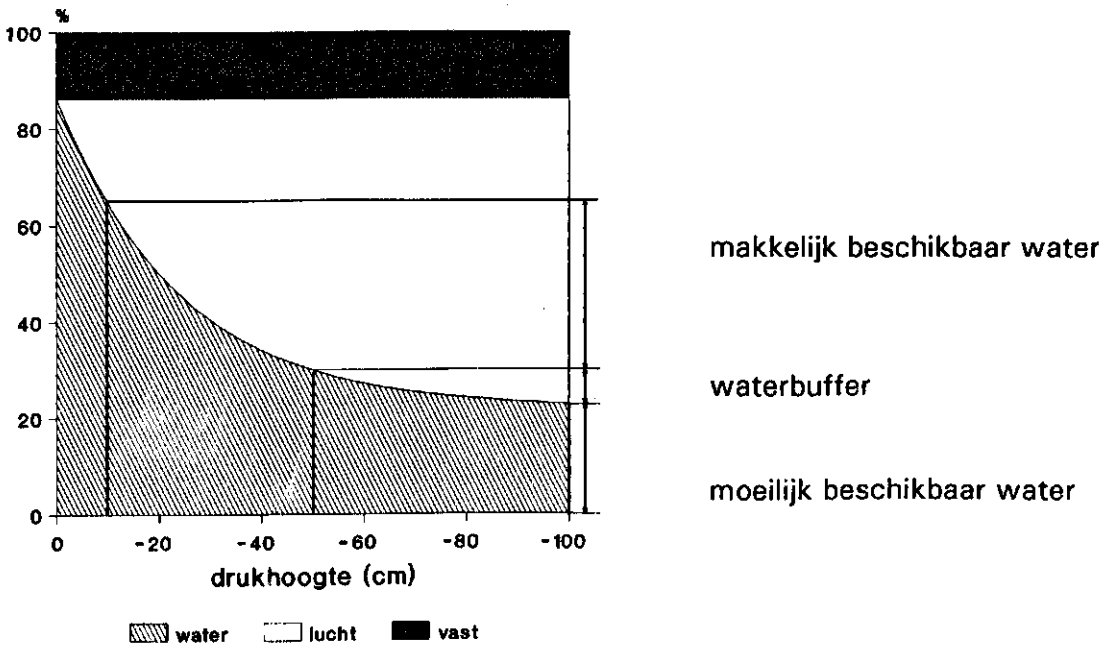
Uit het voorgaande blijkt dat er een relatie is tussen het vochtgehalte en de sterkte van de waterbinding (de drukhoogte). Deze wordt de vochtkarakteristiek (pF-curve) genoemd. Het verloop van deze lijn is dus identiek aan het verloop van het watergehalte in een substraatlaag na uitlekken. In figuur 4.4. zijn de vochtkarakteristieken van veen en steenwol weergegeven. Beide materialen gedragen zich verschillend omdat de waterbinding van beide verschillend is. Veen laat veel minder makkelijk water vrij dan steenwol. Daarom heeft het geen zin heeft om steenwolmatten van 20 cm hoogte te gebruiken, het vochtgehalte bovenin een mat van 20 cm is dan laag. In een dergelijke situatie is alleen te telen als zeer intensief water gegeven wordt. De vochtkarakteristiek geeft dus een indicatie van de maximale dikte van een substraat.
In de vochtkarakteristiek kan ook het luchtgehalte afgelezen worden. Als het luchtgehalte hoog is zal de toevoer van zuurstof naar de wortel beter zijn. Een vuistregel is dat het luchtgehalte bovenin het substraat in ieder geval 10% moet zijn. Het fijne veen waarvan in figuur 4.4. de vochtkarakteristiek staat is moeilijk te gebruiken in een laag van 5 cm, omdat het luchtgehalte $<10\%$ is.

Uit de vochtkarakteristiek is ook af te lezen in hoeverre het aanwezige water beschikbaar is voor de plant. Het verschil in watervolume tussen drukhoogte -10 en -50 cm wordt vaak het gemakkelijk beschikbaar water genoemd, het water tussen drukhoogte -50 en -100 cm de waterbuffer en het overige water het slecht beschikbare water (figuur 4.3.).

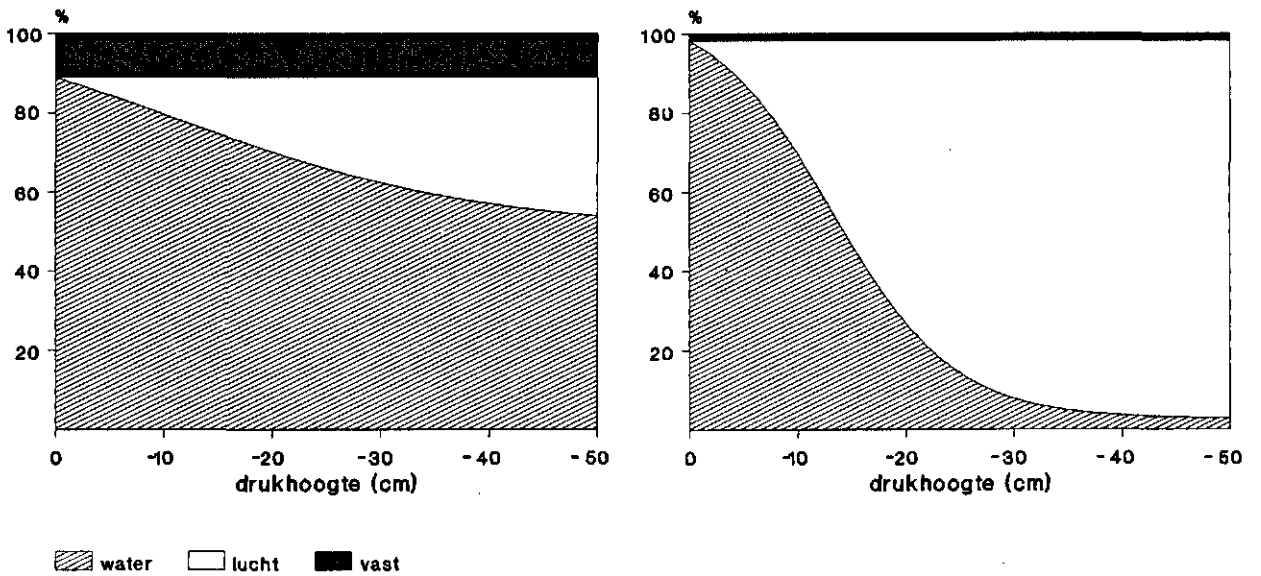


Figuur 4.2: Vochtverdeling in een steenwolmat.

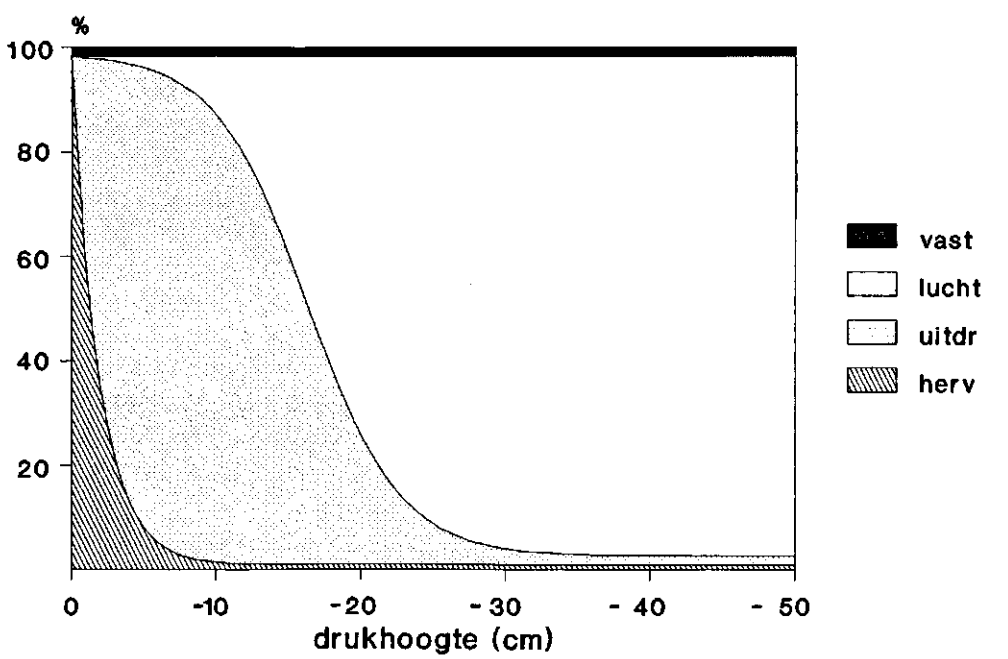
Het maakt verschil of een vochtkarakteristiek wordt bepaald van nat naar droog of omgekeerd. De oorzaak hiervan is dat bij uitdroging de capillaire contacten verbreken. Dit verschijnsel wordt hysteresis genoemd. Het gevolg van hysteresis is te zien in figuur 4.5.: de bevochtigingscurve loopt onder de uitdrogingscurve. In de praktijk vindt voortdurend uitdroging en bevochtiging plaats en zal de vochtkarakteristiek blijven veranderen. Ook kan gedurende de teelt de vochtkarakteristiek veranderen als gevolg van wortelgroei en structuurveranderingen. Deze twee processen veroorzaken een verandering van de poriëngrootteverdeling en dus van de vochtkarakteristiek. Structuurveranderingen kunnen veroorzaakt worden door mechanische belasting, vertering en door chemische invloeden.



Figuur 4.3. Beschikbaarheid van water (Boodt & Verdonck, 1972).



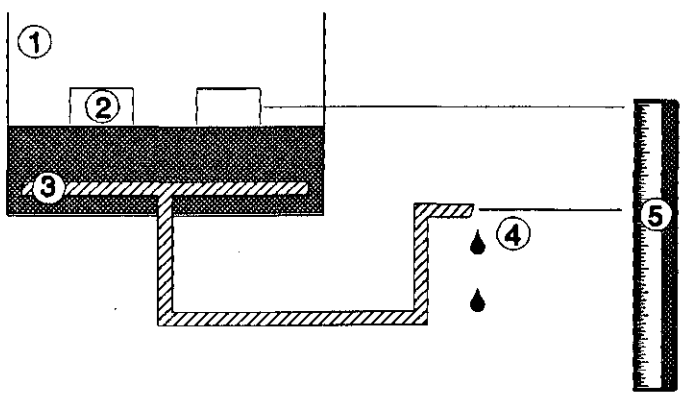
Figuur 4.4. Vochtkarakteristiek fijn veen en steenwol.



Figuur 4.5. Verzadigingscurve en herverzadigingscurve van steenwol.

4.4.1. Bepaling van de water- en luchtverdeling

De bepaling van de vochtkarakteristiek is gekoppeld aan de bepaling van de bulkdichtheid en het poriënvolume. De bepaling wordt uitgevoerd op een pF-bak (figuur 4.6.). Dit is een apparaat waarmee verschillende drukhoogten aangelegd kunnen worden. De pF-bak bestaat uit een zandbak met drainagesysteem verbonden aan een waterkolom met niveaucylinder (figuur 4.6.). De zandbak is gevuld met een fijn soort zand of bauxiet. Het bijzondere van het zand is dat het zeer sterk water bindt waardoor er vrij lange waterkolommen aan gehangen kunnen worden voordat er lucht in het systeem komt. Hierdoor is het mogelijk om een monster op het zandbed droog te trekken. De poriën in het zand zijn zo klein, dat ze tot een drukhoogte van -150 cm volledig gevuld blijven met water. Met behulp van de niveaucylinder kan de drukhoogte worden ingesteld. Het verschil tussen de uitloop van de niveaucylinder en het midden van het monster is de drukhoogte (h).



1. Bak gevuld met fijn zand
2. Ring gevuld met substraat
3. Drainagesysteem
4. Waterafvoer
5. Ingestelde drukhoogte

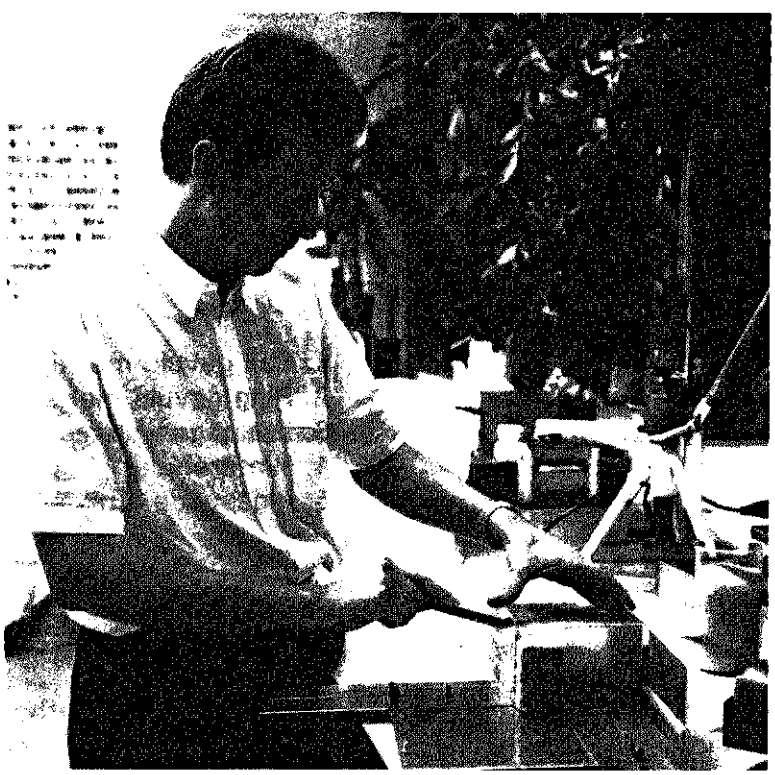
Figuur 4.6. Schematische voorstelling van een pF-bak.

Voor het routine-onderzoek van monsters in Nederland zijn er drie methoden in gebruik voor veen en potgrond. Dit zijn: uitgebreid fysisch onderzoek, beperkt fysisch onderzoek en veenonderzoek. Momenteel wordt uitgebreid fysisch onderzoek ook onderzoekmatig gebruikt voor bepalingen aan andere granulaire materialen. De cijfers in deze brochure zijn dan ook bepaald volgens deze methode. Binnen Europa vindt er momenteel standaardisatie plaats van methoden waarbij een nieuwe methode is voorgesteld: de ISHS-referentiemethode. Alle genoemde methoden zijn onderling goed te vergelijken. Voor niet granulaire materialen zoals steenwol wordt een andere methode gebruikt.
De huidige methoden gaan uit van dezelfde standaardwijze van voorbewerking. Een set van twee dubbele ringen wordt gevuld door ze te laten vallen en aan te drukken met 10 kPa. De monsters worden verzadigd en er wordt een drukhoogte ingesteld. Hierna worden de ringen gescheiden wat dan het volume vaststelt waarmee later berekeningen worden uigevoerd. Eventueel wordt de ring bij meerdere drukhoogtes gezet. De ring wordt in een stoof gedroogd om het drooggewicht te bepalen.

De ISHS-referentiemethode is qua opzet vergelijkbaar met methoden die in gebruik zijn voor routine onderzoek. De belangrijkste verschillen zijn: bij de ISHS-methode is de zetting in de ring kleiner omdat het materiaal losjes in de ringen gedaan wordt en het monster wordt voorbevochtigd (figuur 4.7.).

Voor niet granulaire substraten, zoals steenwolmatten, moet een andere werkwijze aangehouden worden. Het is met dit soort materialen niet mogelijk een ring te vullen. Er worden dan ook blokjes gemaakt door de matten te verzagen. Deze blokjes worden verzadigd waarna verschillende drukhoogtes worden ingesteld. Meestal worden drukhoogtes aangehouden tot -25 cm. De cijfers in deze brochure van niet granulaire materialen zijn volgens deze methode bepaald.

Bij alle genoemde methoden wordt de bulkdichtheid berekend door het gewicht van het monster na drogen te delen door het volume van de ring. De bulkdichtheid wordt uitgedrukt in $kg.m^{-3}$. Water, lucht en poriën worden als volumefractie weergegeven ($m^3.m^{-3}$) of als volumeprocenten.

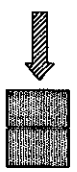
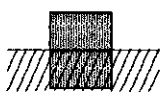
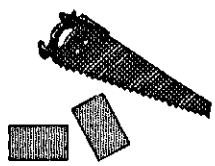


Het zagen van monsters van substraatmatten

4.4.2 Normen water- en luchtverdeling

Voor potgronden is er een klasse-indeling op basis van het luchtgehalte en andere fysische parameters zoals: krimp, volumefracties water, poriën en vocht en het organische stofgehalte. Ook voor veen is er een dergelijke indeling. Op basis van het luchtgehalte wordt een waardering gegeven. Voor de overige substraten is er geen klasse-indeling. Een vuistregel is dat het luchtgehalte bij drukhoogte -10 cm in een substraat minimaal 10% moet zijn.
Met de vochtkarakteristiek kan berekend worden wat de voor de plant beschik-

bare hoeveelheid water is en dus wat het waterbufferend vermogen is van het substraat. Als dan ook bekend is wat de verdamping is voor een gewas kan een schatting gemaakt worden van de benodigde druppelfrequentie. Het komt er op neer dat bij een substraat met een kleine hoeveelheid beschikbaar water er vaak water gegeven moet worden (zie hoofdstuk 6).

Methode	Bevochtigen	Vullen	Verzadigen	Drukhoogte	Scheiden wegen
					
Huidige	-	vallen aandrukken	+	+	+
I.S.H.S.	+	losjes	+	+	+

Figuur 4.7. Schematische weergave van de gebruikte methoden voor het bepalen van de bulkdichtheid en de vochtkarakteristiek.

4.5. Overige fysische eigenschappen

Naast de tot nu toe genoemde fysische eigenschappen zijn er nog andere die vaak erg belangrijk zijn: korrelgrootteverdeling, waterdoorlatendheid, warmte- en mechanische eigenschappen. Het probleem is echter dat er nog geen geschikte methoden zijn om deze eigenschappen te meten. Aan een groot aantal methoden wordt momenteel gewerkt op het proefstation in Naaldwijk.
De korrelgrootteverdeling van een substraat bepaalt voor een groot deel de poriëngrootteverdeling en dus de vochtkarakteristiek. Ook kan hieruit afgeleid worden of een kans op verstopping bestaat in het drainage-systeem. Als in bijvoorbeeld puimsteen te veel fijne delen zitten (slib) is de kans daarop erg groot.
De waterdoorlatendheid bepaalt hoe snel water door een substraat stroomt. Hiermee kan berekend worden hoe groot de drainafstand moet worden en hoe snel er weer voldoende lucht in het substraat is na een gietbeurt.
Voor de warmtehuishouding in een wortelmedium zijn de warmtecapaciteit en de warmtegeleidingscoefficient van groot belang. Zoals in hoofdstuk 2 al aangegeven zijn deze eigenschappen van belang bij de opwarming in de zomer, bij het koelen en bij het stomen.
Mechanische eigenschappen van substraten bepalen sterk de bruikbaarheid van een substraat. Hierbij moet gedacht worden aan de indringingsweerstand voor wortels, krimp en de structuurstabiliteit onder invloed van chemische, fysische en biologische invloeden. Als het de wortel veel energie kost om in een substraat door te dringen zal hierdoor de wortelontwikkeling niet optimaal zijn. Als aan de andere kant het substraat helemaal geen weerstand zou bieden is de stabiliteit van de plant niet voldoende. De stevigheid van een substraat (hardheid, elasticiteit en cohesie) kan beïnvloed worden. Bijvoorbeeld steenwol lost bij een lage pH op waardoor de mat zijn stevigheid verliest. Organische produkten zoals houtve-

zel worden afgebroken door micro-organismen en ander bodemleven. Gedurende de teelt kan het materiaal dan ook inzakken. Ook door mechanische belasting kan een substraat zijn stevigheid verliezen. Als een tractor over perliet rijdt zal het materiaal verpulveren. Krimp is een eigenschap die vooral bij organische substraten optreedt. Slecht veen kan bijvoorbeeld sterk in volume afnemen als het indroogt.

5. WORTELMEDIA

Op het fysisch laboratorium van het proefstation in Naaldwijk zijn veel substraten onderzocht op hun fysische eigenschappen. In dit hoofdstuk worden de belangrijkste fysische eigenschappen per substraat behandeld. De overige gegevens zijn te vinden in de bijlage.
Binnen een substraatsoort is vaak variatie mogelijk in het luchtgehalte doordat er zowel fijner als grovere fracties op de markt zijn. Zowel op de proefstations als de ROC's zijn vele vergelijkende substraatproeven uitgevoerd. De belangrijkste conclusie uit al deze proeven is dat op de meeste substraten goed geteeld kan worden mits het luchtgehalte voldoende hoog is en de watervoorziening op het substraat is afgestemd. De uiteindelijke substraatkeuze zal dan ook sterk afhangen van de voorkeur van de tuinder. Daarbij moet hij ook chemische eigenschappen en zaken als duurzaamheid, stoombaarheid en milieuvriendelijkheid betrekken. Bij het laatste punt hoort ook de afvalfase. Wanneer een substraat na gebruik composteerbaar is, wil dit nog niet zeggen dat het probleemloos kan worden afgezet. De verwachting is dat de wetgever strenge eisen gaat stellen aan het toepassen van gebruikte organische substraten als bodemverbeteraar of organische meststof. De chemische samenstelling kan dan een probleem worden. Ook zullen er grote hoeveelheden GFT-compost op de markt komen, waardoor een makkelijke afzet niet vanzelfsprekend is. Bij materialen die gerecyceld worden dient de kanttekening te worden geplaatst dat dit proces vaak veel energie kost en daardoor milieubelastend is.

5.1. Kokos

Er zijn een aantal kokosprodukten op de markt: cocospeat, kokosbrokjes en kokosvezel. Alle produkten zijn afkomstig van de kokosnoot en worden geïmporteerd uit tropische landen zoals Sri Lanka en Vietnam. De kokosnoot is de grote vrucht van de kokospalm (Kokos nucifera). In de bast zit ongeveer 125 gram vezel en ongeveer 250 gram gruis (cocospeat). Ook kan de bast van de noot gemalen worden tot brokjes. De kokospalm is één van de weinige planten die geheel gebruikt worden. De stam en een vlechtwerk van bladeren worden voor de bouw ingezet. De vruchtschaal wordt als brandstof gebruikt en voor de produktie van actieve kool. De vruchtkern geeft in onrijpe toestand kokoswater wat een verfrissende drank is. De rijpe vrucht kan gebruikt worden voor de oliewinning en het vruchtvlees is eetbaar. De vezels worden gebruikt voor matten, bezems, isolatie en natuurlijk als wortelmedium.
Kokosprodukten worden in Europa nog weinig als substraat toegepast. Toch is het geen onbekend produkt want al in 1862 werd cocospeat in

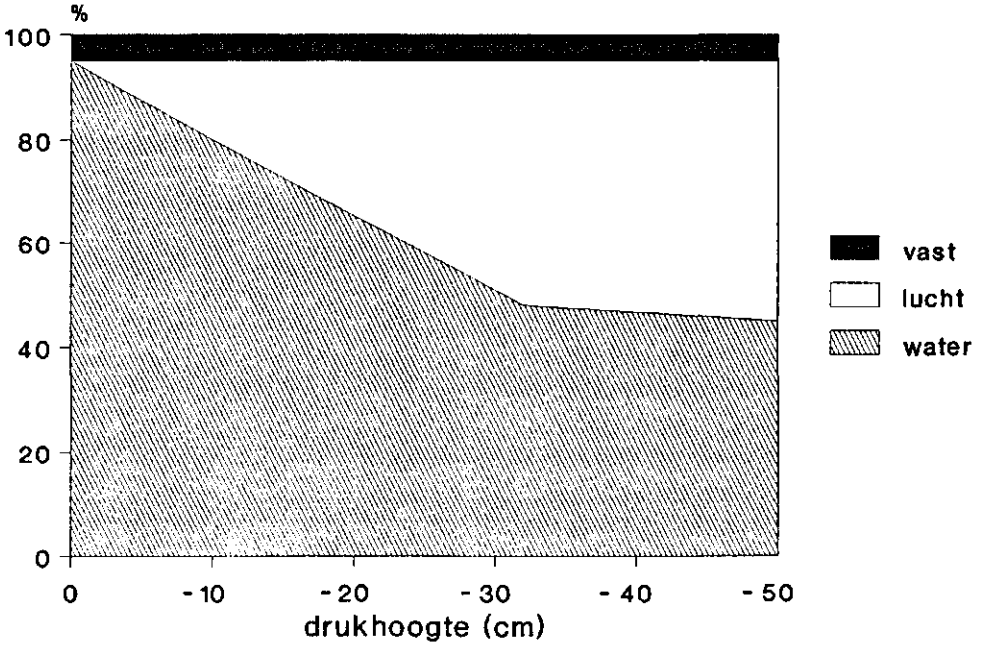


Cocospeat

een Engels tijdschrift beschreven. In Sri Lanka en India wordt cocospeat al jaren gebruikt als substraat. Cocospeat wordt in Nederland proefsgewijs toegepast bij roos en chrysant in librabakken. Ook worden er proeven gedaan met kokosmatten. De resultaten tot nu toe zijn goed.

Eigenschappen

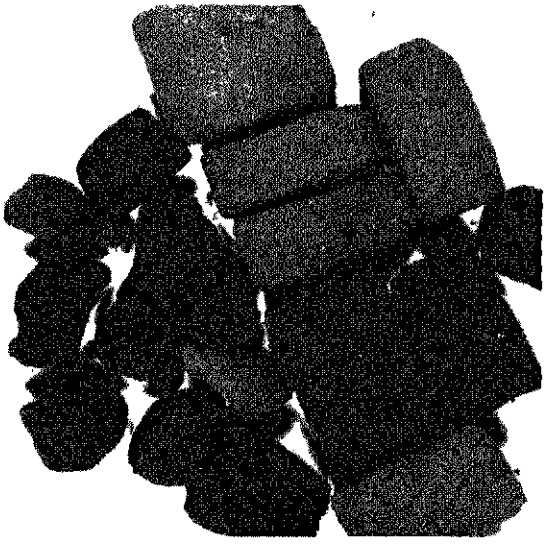
De kokosvezels bevatten veel lucht en weinig water; de cocospeat bevat veel water en weinig lucht. De brokjes zitten hier tussenin en zijn als substraat het meest geschikt. Bij cocospeat en mogelijk ook bij brokjes wordt een kleine hoeveelheid stikstof vastgelegd. Kokos heeft een pH van ongeveer 5 à 6. Toch is een lichte bekalking noodzakelijk om de pH te bufferen. Kokosprodukten zijn niet inert, reageren dus met meststoffen en hebben een hoog bufferingsvermogen voor voedingselementen. Doordat kokospalmen vaak aan de kust staan bestaat de kans dat het zoutgehalte te hoog is. De oorzaak van een eventueel hoog zoutgehalte is tweeledig. De kokospalm kan zonder nadelige gevolgen NaCl opnemen en gebruikt de noot als opslagorgaan voor dit zout. Daarnaast wordt de kokosbast in water geweekt om de vezels er gemakkelijker uit te kunnen halen. Aangezien dit vaak in brak water plaatsvindt moet het zoutgehalte dus goed gecontroleerd worden. Bovendien moet het materiaal gesteriliseerd worden om eventuele ziektekiemen te doden. Daarnaast bevat vers materiaal nog schadelijke stoffen. Daarom moet substraat van kokos voor gebruik gecomposteerd of gedurende 4 maanden bewaard worden.
Over de duurzaamheid en het hergebruik bestaat nog weinig kennis. Bekend is wel dat kokosvezels in andere toepassingen zeer duurzaam zijn. Denk hierbij aan kokosmatten, omhulling van drainslangen en kokostouw. De activiteit van micro-organismen is bij toepassing als substraat veel hoger, zodat de duurzaamheid wellicht minder is dan bij andere toepassingen. Ook over de stoombaarheid is weinig bekend.
Het produkt kan na gebruik gecomposteerd worden.



Figuur 5.1. Vochtkarakteristiek cocospeat; $\rho = 82$ kg.m^{-3}.

5.2. Fenolhars

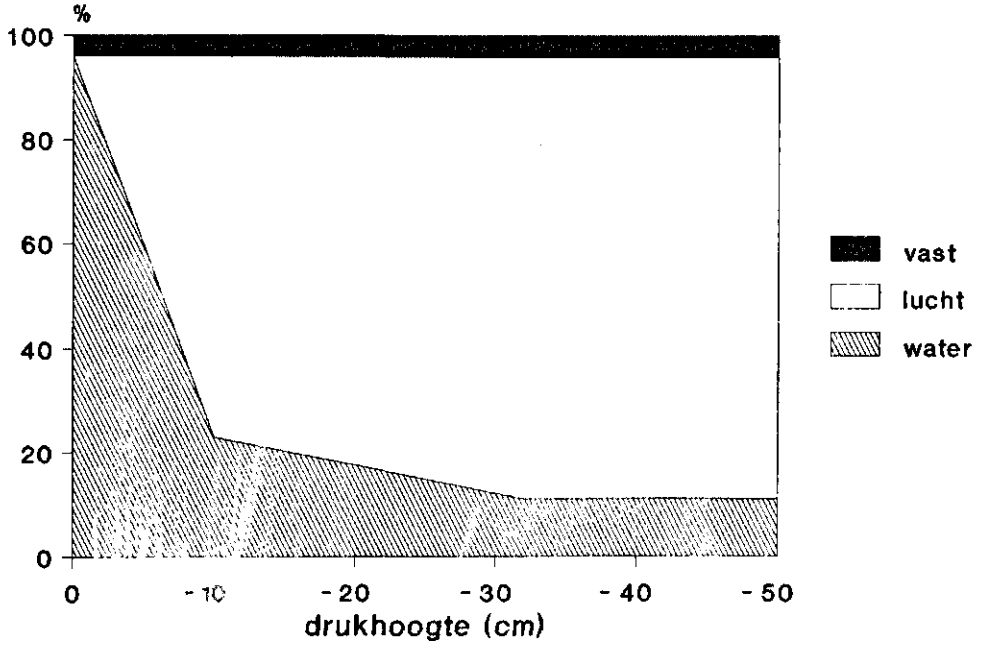
Fenolharsschuim wordt gemaakt door aardolieprodukten op te schuimen. Een fenol is een benzeenring met een OH-groep. De grootte van de poriën is te variëren. Oasis brengt tegenwoordig één type op de markt. Het produkt kan als mat geproduceerd worden maar ook kunnen er brokjes worden gemaakt.
Het granulaat wordt gebruikt bij orchideeën en anthuriums. Na fabricage is de pH erg laag (3.5.). Daarom wordt voor aflevering het materiaal bekalkt. Voor de eerste watergift is wederom een extra kalkgift (0.5 kg.m^{-3} Dolokal) noodzakelijk. Oasis vindt ook veel toepassing bij het steken van bloemstukken.



Fenolhars

Eigenschappen

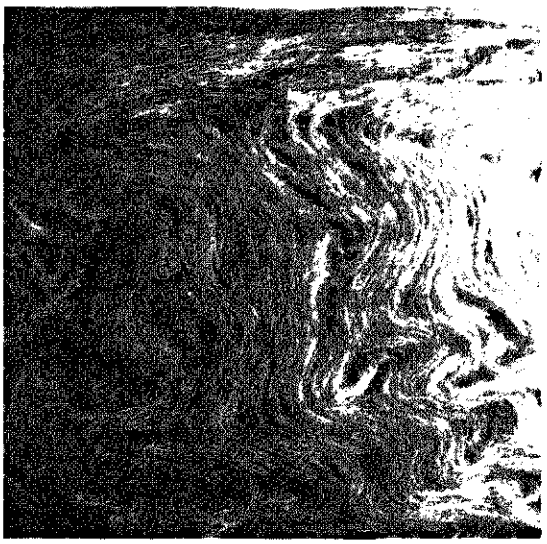
Fenolharsschuim houdt veel water vast maar in granulaire vorm bevat het veel lucht door de holtes tussen de brokjes. Fenolharsschuim heeft geen buffercapaciteit voor voedingselementen.
Het materiaal is vrij zacht en niet flexibel waardoor het na indrukken verpulvert en zijn structuur verliest. Het materiaal is te stomen, maar het gaat moeizaam omdat het veel water vasthoudt. Door de geringe draagkracht kan het niet toegepast worden als er met machines over het substraat gereden moet worden.
Fenolharsschuim verkleint bij composteren tot onherkenbare structuren waarbij voor zover bekend geen schadelijke stoffen overblijven.



Figuur 5.2. Vochtkarakteristiek fenolharsgranulaat; ρ = 30 kg.m^{-3}.

5.3. Glaswol

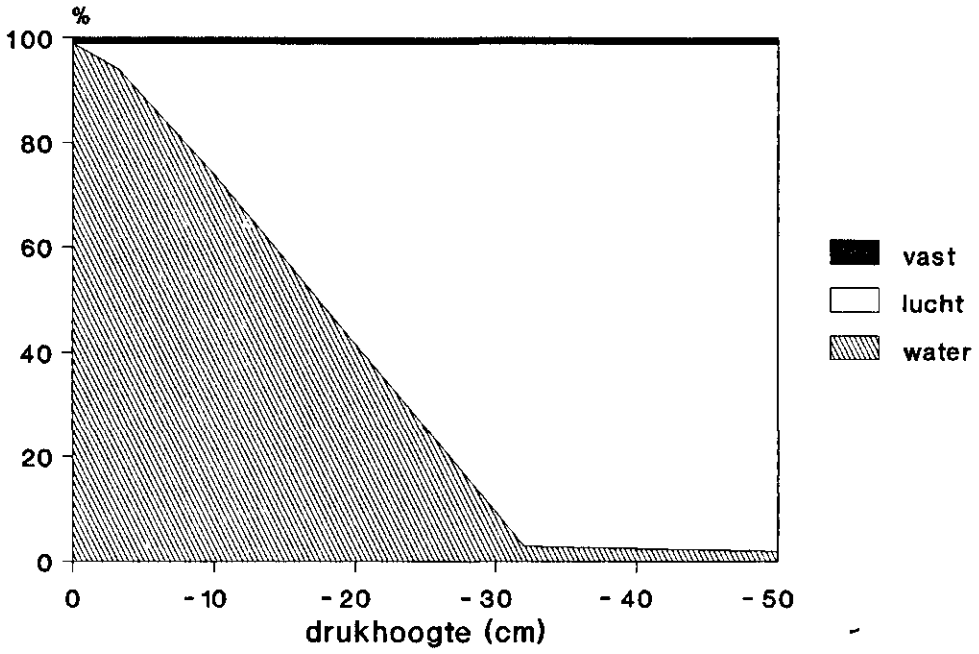
Glaswol wordt gemaakt door kwartszand te smelten in een elektrische oven bij 1200°C. Het vloeibare glas stroomt op een ronddraaiend bord en wordt door de gaatjes in de rand naar buiten geslingerd. De dunne slierten glas stollen tot vezels. Aan de vezels wordt tevens een bindmiddel toegevoegd waardoor de mat zijn vorm behoudt. Glaswol wordt veel gebruikt als isolatiemiddel. Als substraat is glaswol in te zetten op alle plaatsen waar ook steenwol ingezet kan worden. Momenteel wordt het bij tomaat en komkommer met succes toegepast en proefsgewijs bij paprika, roos, anjer, aster, gerbera en de opkweek van chrysant. Ook wordt sla op glaswol geteeld. Hiervoor wordt een deken van glaswol uitgerold over de kasgrond waar de sla op wordt gepoot.



Glaswol

Eigenschappen

Glaswol bestaat uit lange stevige vezels. In tegenstelling tot steenwol is de vezeldiameter te variëren waardoor drogere of nattere produkten te maken zijn. Door bovenin de mat fijnere vezels en onderin grovere vezels aan te brengen is het ook mogelijk een homogene vochtverdeling in de mat te verkrijgen. Op het proefstation in Naaldwijk worden momenteel verschillende glaswoltypen onderzocht. Het huidige glaswol is zeer licht en kan veel water en, zeker in de bovenste laag, veel lucht bevatten. Glaswol is chemisch gezien inert.



Figuur 5.3. Vochtkarakteristiek van glaswol; ρ = 34 kg.m^{-3}

Glaswol lost nauwelijks op onder invloed van zuren en heeft daardoor een grotere structuurstabiliteit dan steenwol. Het is biologisch niet afbreekbaar.
Glaswol wordt door de leverancier teruggenomen en gerecyceld tot nieuwe glaswol. De recycling is een pyrolyseprocédé: bij een temperatuur van 500°C en laag zuurstofgehalte worden glas en organische stoffen gescheiden. De organische stoffen verbranden. De hierbij vrijkomende energie wordt gebruikt om het pyrolyseproces gaande te houden. Het pyrolyse proces is een energie vriendelijk-proces.

5.4. Houtvezel

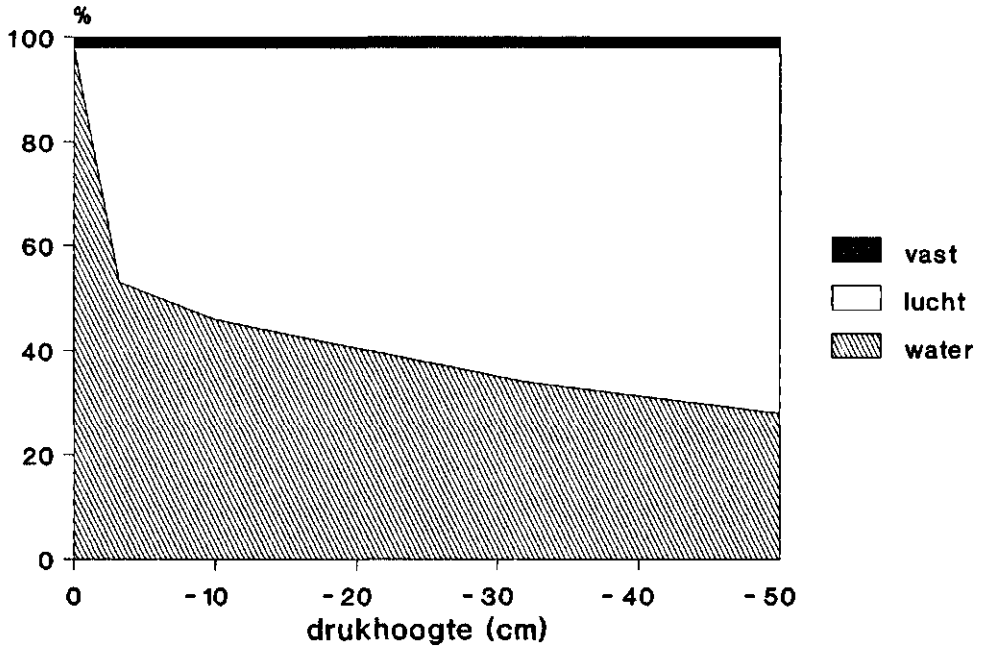
Uit hout kan houtwol geproduceerd worden door het hout te vervezelen bij een temperatuur boven de 100°C. Hierdoor is het produkt vrij van plantpathogenen.
Hortiviro wordt vervaardigd van bomen van de dennesoort Pinus sylvestris. De bomen worden geschild. In andere houtvezelsubstraten (bijvoorbeeld Culti-Fibre) wordt afvalhout gebruikt. Toepassing vindt meestal plaats in matten. De vezels zitten dan in een netje met daaromheen wit plastic folie. Maar de vezels kunnen ook gemengd worden met veen in potgrondmengsels.
In de Nederlandse sierteeltsector is goede ervaring opgedaan met het gebruik van houtvezel bij de opkweek van orchideeën en gerbera's. In Frankrijk wordt houtvezel al meerdere jaren met goede resultaten toegepast als substraat bij gerbera.



Houtvezel

Eigenschappen

Houtvezelprodukten worden zowel van vers als van afvalhout vervaardigd. Ze zijn vaak erg luchtig en houden weinig water vast. Gedurende de eerste tijd van de teelt wordt er stikstof gebruikt door de intensieve kolonisering van bacteriën. Hierdoor stijgt ook de pH enigszins. Door aanpassing van de voedingsoplossing is dit makkelijk bij te stellen.
De matten gaan één teelt mee omdat het gedurende de teelt afgebroken wordt door micro-organismen. Het produkt is dus niet erg duurzaam. Voor langere teelten moet een iets zwaardere mat gekozen worden. Van Hortiviro bestaan drie kwaliteiten: 75, 95 en 110 $kg.m^{-3}$. Deze worden respectievelijk aanbevolen voor tomaat, komkommer en roos. Door de korte gebruiksduur is stoombaarheid niet van toepassing. Bij de vertering van het materiaal komt ook CO_2 vrij waardoor ook wat later begonnen kan worden met CO_2-toediening. De Hortiviro-matten worden teruggenomen en verwerkt als grondstof voor tuingronden in de hobbysfeer.
Houtvezel van afvalhout is momenteel nog in onderzoek. Hiervan kan dus nog niet gezegd worden of het al dan niet geschikt is als substraat.



Figuur 5.4. Vochtkarakteristiek houtvezelmat; $\rho = 63$ kg.m^{-3}.

5.5. Kleikorrel

Kleikorrels worden verkregen door zware klei te laten expanderen. Bij het bakken van droge klei bij 1100°C komt een gas vrij waardoor de klei expandeert. De gassen komen vrij doordat ijzersulfiden omgezet worden. Het is van groot belang dat alleen speciale kleisoorten met een laag gehalte aan wateroplosbare zouten voor de fabricage worden gebruikt en dat tijdens het proces geen chemicaliën worden toegevoegd. Deze kunnen anders tijdens de teelt vrij komen en vooral in gesloten systemen veel problemen veroorzaken. Het kan namelijk voorkomen dat bij de fabrikage een extra hoeveelheid sulfiden worden toevoegd om er zeker van te zijn dat er genoeg gassen vrijkomen bij het bakken. Kleikorrels met een zeer lage bulkdichtheid zijn daarom verdacht.

Naast verschillende fracties zijn er ook gebroken kleikorrels. Het idee klei te expanderen tot korrels is afkomstig uit de Verenigde Staten. Het proces werd in 1917 ontwikkeld voor de scheepsbouw om beton te fabriceren met een lage bulkdichtheid. Het doel was hiermee drijvende bakken te maken waarmee in de eerste wereldoorlog materieel naar Europa zou kunnen worden versleept. De betonbakken zijn nooit de oceaan overgestoken maar in een meer in Amerika zijn er wel enkele exemplaren in bedrijf geweest. Mo-

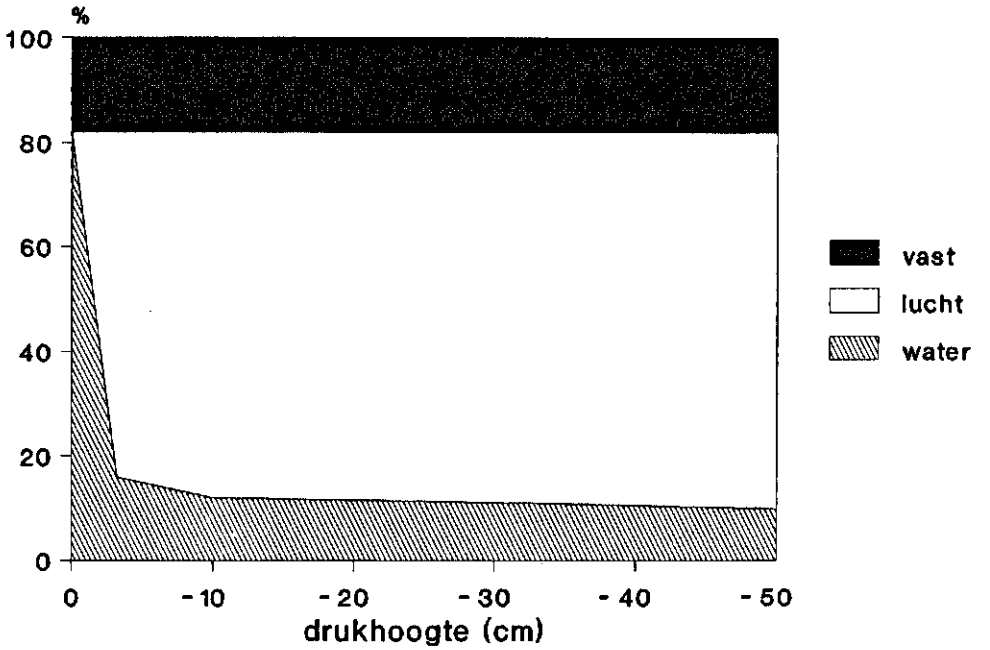


Kleikorrel

menteel vinden kleikorrels veel toepassing als isolatie in de bouw, als substraat bij daktuinen, voor beluchting van wortels rond bomen en in de weg- en waterbouw. In de tuinbouw wordt de kleikorrel sinds 1936 gebruikt. Ze worden toegepast bij hydrocultuur en verder in goten of emmers bij tomaat, komkommer, roos, alstroemeria, bouvardia, anemone en phlox.

Eigenschappen

De gebakken kleikorrel heeft een gering gewicht en een poreuze structuur. Kleikorrels bevatten dan ook over het algemeen zeer veel lucht en weinig water. Meestal wordt daarom een frequente watergift in combinatie met een constante waterlaag in het substraat geadviseerd. De pH is ongeveer 7 en de EC laag, er van uitgaande dat een zoutarme klei is gebruikt en er geen chemicaliën zijn toegevoegd die tijdens de teelt in oplossing kunnen komen.
Op de universiteit van Hannover is aangetoond dat kleikorrels na vijf jaar intensief telen geen substraatmoeheid vertonen. Kleikorrels zijn zeer geschikt voor meerjarig gebruik omdat ze sterk en goed stoombaar zijn.
Kleikorrels kunnen vele jaren mee dus de afvalfase is minder van belang. Gebruikte kleikorrels kunnen worden gebruikt in de bouw.



Figuur 5.5. Vochtkarakteristiek kleikorrel (4 - 8 mm); ρ = 469 kg.m^{-3}.

5.6. Lava

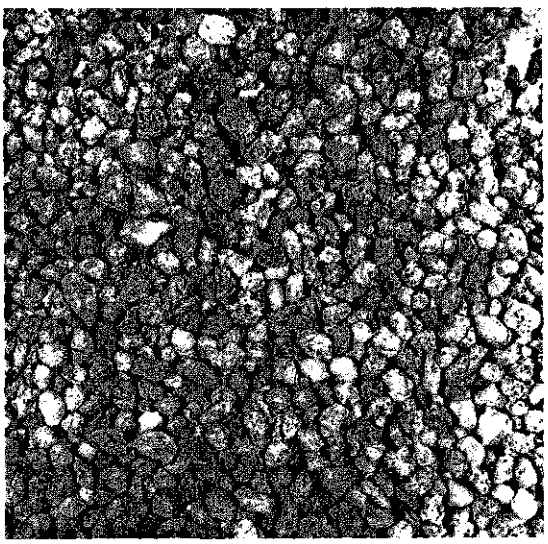
Lava is een vulkanisch produkt. Het stroomt als magma tijdens een uitbarsting uit de vulkaan, waarna het langzaam stolt tot een vast gesteente. Gebroken lava wordt onder andere in de Eifel afgegraven, gebroken en gezeefd. Lava wordt ook gebruikt in de weg- en waterbouw, bij sportvelden, als sierstenen in de tuin, als wortelbeluchting en in oxydatiebedden voor rioolzuiveringsinstallaties.

Lava kan in principe voor veel gewassen gebruikt worden mits er niet met de hand ingewerkt moet worden. Door de geringe waterbuffer zal er wel vaak water

gegeven moeten worden. Lava is geschikt om te gebruiken voor dunne substraatlagen. Het wordt momenteel toegepast voor de anthuriumteelt in containers.

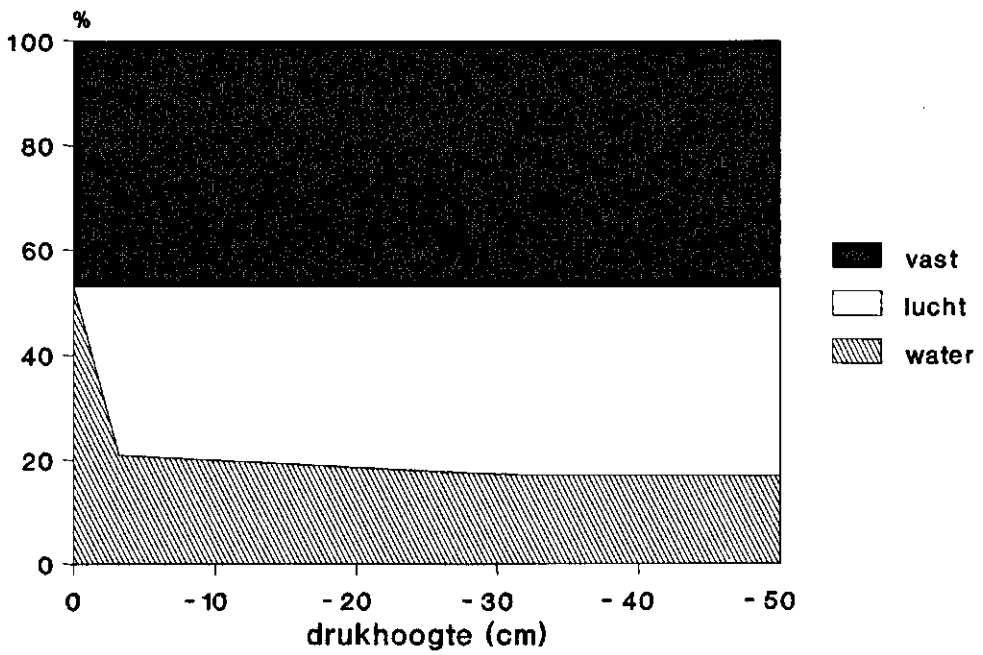
Eigenschappen

Gebroken lava is een zwaar produkt met een matige hoeveelheid poriën. Door zijn korrelvorm is het wel luchtig maar houdt weinig water vast. Het produkt is vrij scherp en is dus minder geschikt als er veel met de handen in gewerkt moet worden. Daarnaast is lava heel hoekig. Daardoor zal bij het uittrekken van planten een hoeveelheid substraat aan de wortels blijven hangen. Overigens zijn er ook minder scherpe lavasoorten te verkrijgen. Doordat lava gebroken en gezeefd wordt is een constante samenstelling gewaarborgd.
Lava heeft geen buffercapaciteit voor voedingselementen en heeft een pH van 7 à 8. Lava is zowel chemisch als biologisch niet afbreekbaar en de structuurstabiliteit is groot. Lava is dus zeer duurzaam.
Ook is het goed stoombaar.



Gebroken lava

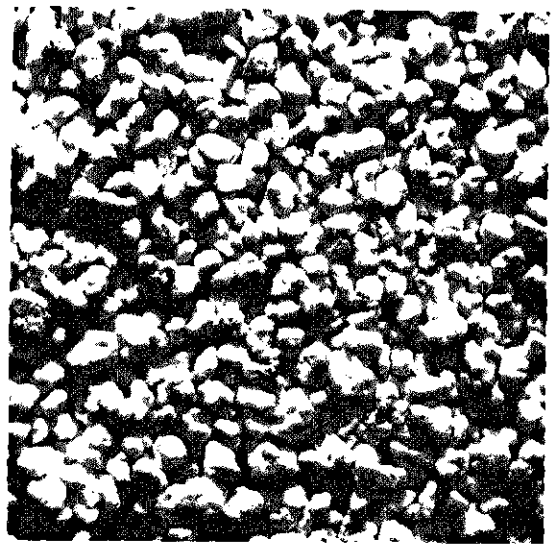
De afvalfase is bij lava minder van belang omdat het veel jaren mee kan. Het materiaal kan eventueel gebruikt worden als steenfundering voor de wegenbouw.



Figuur 5.6. Vochtkarakteristiek van gebroken lava (2 - 5 mm); $\rho =$ 1214 kg.m^{-3}.

5.7. Perliet

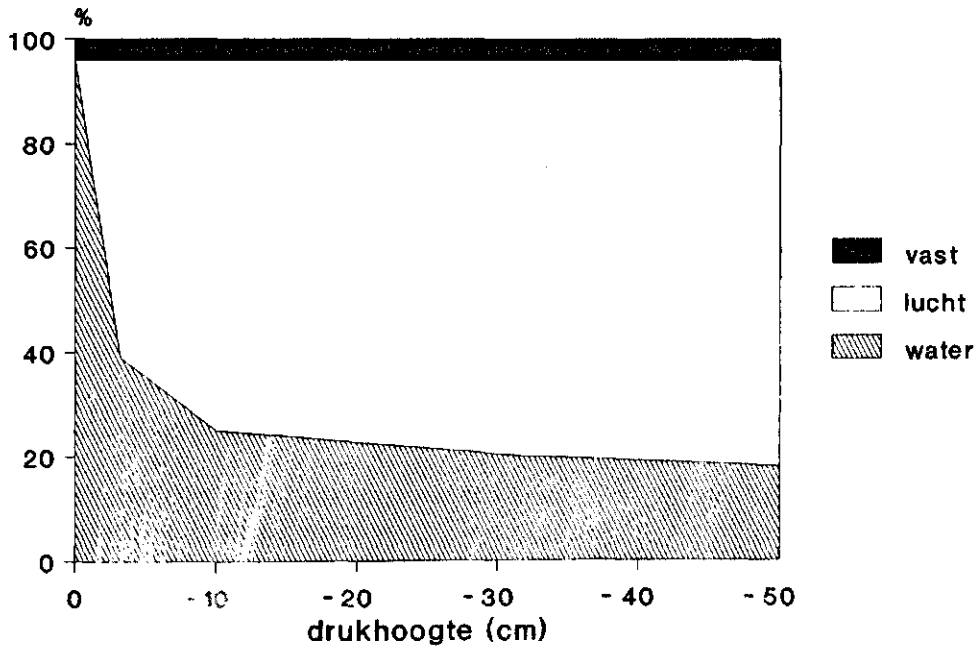
Perliet is een glasachtig vulkanisch gesteente dat op allerlei plaatsen in de wereld wordt gevonden. Het wordt gemalen, gezeefd en daarna bij circa 1000°C 'gepoft'. In het perliet-erts zit namelijk mineraalwater opgesloten. Bij de hoge temperatuur in de oven gaat dit water over in gasvorm. Hierdoor expandeert het perliet tot ongeveer 20 maal het oorspronkelijke volume.
Met behulp van een bindmiddel kunnen er ook matten van gemaakt worden. Bij deze toepassing wordt meestal het fijne perliet gebruikt.
Perliet wordt veel als isolatiemateriaal en in potgrondmengsels gebruikt maar als substraat vindt het nog weinig opgang. In een aantal proeven met bijvoorbeeld aardbei, anjer en chrysant is wel gebleken dat er goede mogelijkheden zijn, waarbij vooral bij anjer het fijne perliet goed voldeed. In Schotland worden tomaten geteeld op zakken met perliet. In België zijn wat proeven gedaan met komkommer en tomaat op de gelijmde fijne perlietmatten.



Perliet

Eigenschappen

Perliet is zeer poreus en licht en kan veel water en veel lucht bevatten. De pH is vrij neutraal tussen 6.5 en 7.5 en het produkt heeft een lage EC (0.1). Perliet kan geen voedingsstoffen bufferen.

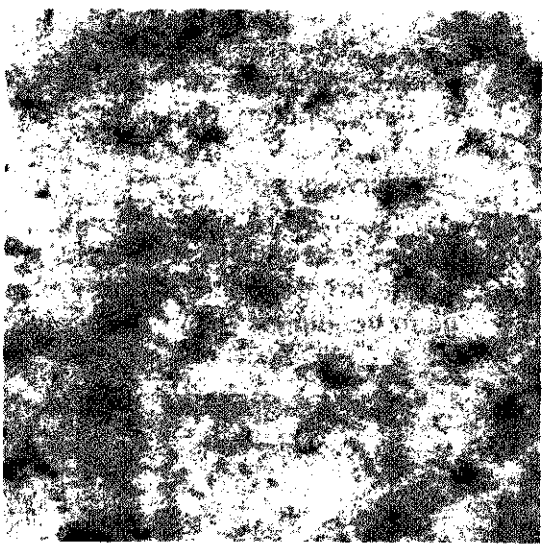


Figuur 5.7. Vochtkarakteristiek perliet (1 - 7.5 mm); ρ = 117 kg.m^{-3}.

Perliet is bros en en kan bij een lage druk verpulverd worden. Bij normaal gebruik is dit geen probleem maar er kunnen bijvoorbeeld geen machines over een perlietbed rijden.
Afgezien van de eerder genoemde geringe draagkracht is het materiaal stabiel. Perliet is goed stoombaar en de stabiliteit wordt weinig aangetast door zuren of micro-organismen.
Perliet is, bij juist gebruik, meerdere jaren te gebruiken. Daarom is de afvalfase minder van belang. Het materiaal zelf is niet te composteren maar het perliet kan wel gebruikt worden als toevoeging bij het composteringsproces.

5.8. Poly-urethaan

Poly-urethaan wordt geproduceerd door aardolieprodukten te mengen, waardoor er reacties optreden. Bij de bereiding van dit kunststofschuim reageert een di-isocyanaat met een glycol. De overmaat di-isocyanaat groepen in het polymeer reageert met water waardoor CO_2 ontstaat en het polymeer opschuimt. Het materiaal wordt vervaardigd voor de meubelindustrie. De snijresten worden toepasbaar gemaakt voor substraatteelt. Eerst worden snijresten tot vlokken vermalen (Oxygrow). Om matten te verkrijgen (Aggrofoam en Bar-Pu) worden de vlokken met chemicaliën in een vorm samengeperst tot een bepaalde dichtheid is bereikt. Hierdoor verlijmen de vlokken en ontstaat een mat. Tijdens het proces wordt gedurende een bepaalde tijd stoom doorgeblazen met een temperatuur van 140°C. Poly-urethaan vindt toepassing in matrassen, meubels, voetvormen voor skieschoenen en ondertapijt. Als substraat wordt poly-urethaan in België veel toegepast. In Nederland in mindere mate en dan voornamelijk bij tomaat, komkommer, paprika, aubergine, anjer, gerbera en roos. Het granulaat (Oxygrow) wordt toegepast bij anjer, orchidee en cymbidium. Vaak worden mengsels gebruikt van poly-urethaan schuim met bijvoorbeeld steenwolgranulaat. Voor de afvalfase is dit wel een probleem omdat de produkten dan weer gescheiden moeten worden.

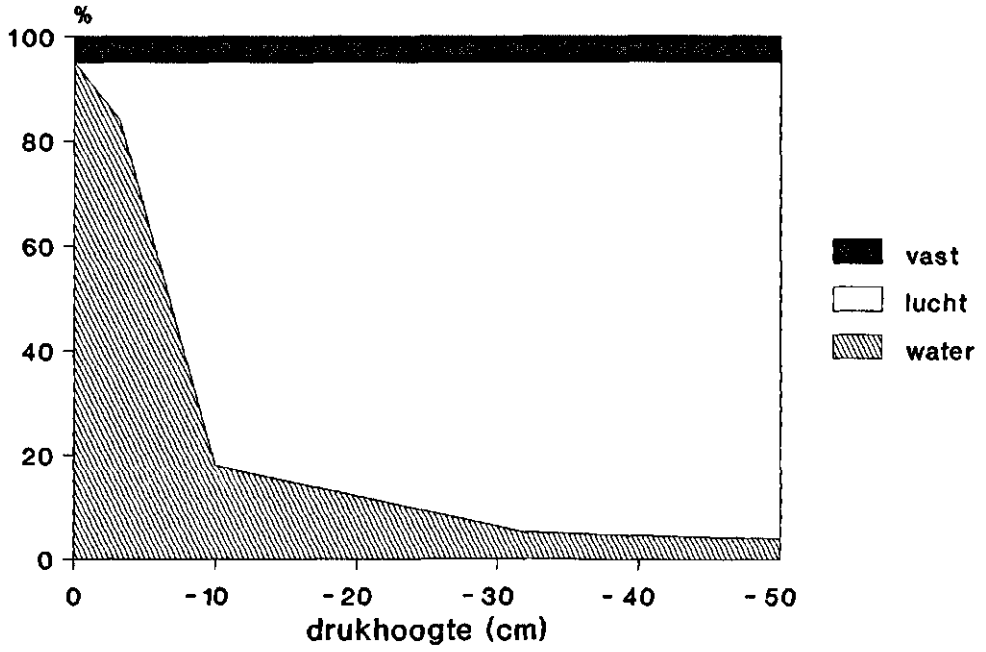


Poly-urethaan

Eigenschappen

Poly-urethaan bevat meestal veel lucht en weinig water. Er zal dus frequent water gegeven moeten worden.
In het verleden zijn er problemen geweest met matten van poly-urethaan omdat er schadelijke stoffen in het schuim zaten. Tegenwoordig hebben de producenten dit goed in de hand waardoor dergelijke problemen bijna niet meer voorkomen. Poly-urethaan is flexibel, heeft een lage EC en een pH van 6.
Poly-urethaan gaat zeer lang mee, zeker 10 jaar. Het is niet afbreekbaar door inwerking van zuren of micro-organismen. Het is ook goed stoombaar. In België zijn zeer goede resultaten verkregen met gebruikte matten. Voor hergebruik worden de matten eerst door een machine gehaald die het overtollige water er

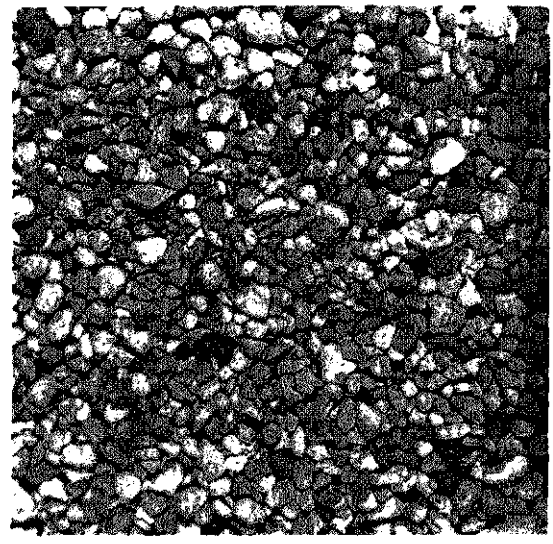
uitperst en de wortels er af borstelt. Hierna worden ze gestoomd.
Poly-urethaan gaat lang mee en daarom is de afvalfase minder van belang. Het produkt wordt door de producent teruggenomen en hergebruikt voor het aanleggen van daktuinen. Uiteindelijk is het produkt goed te verbranden.



Figuur 5.8. Vochtkarakteristiek poly-urethaanmat; $\rho = 83$ kg.m^{-3}.

5.9. Puimsteen

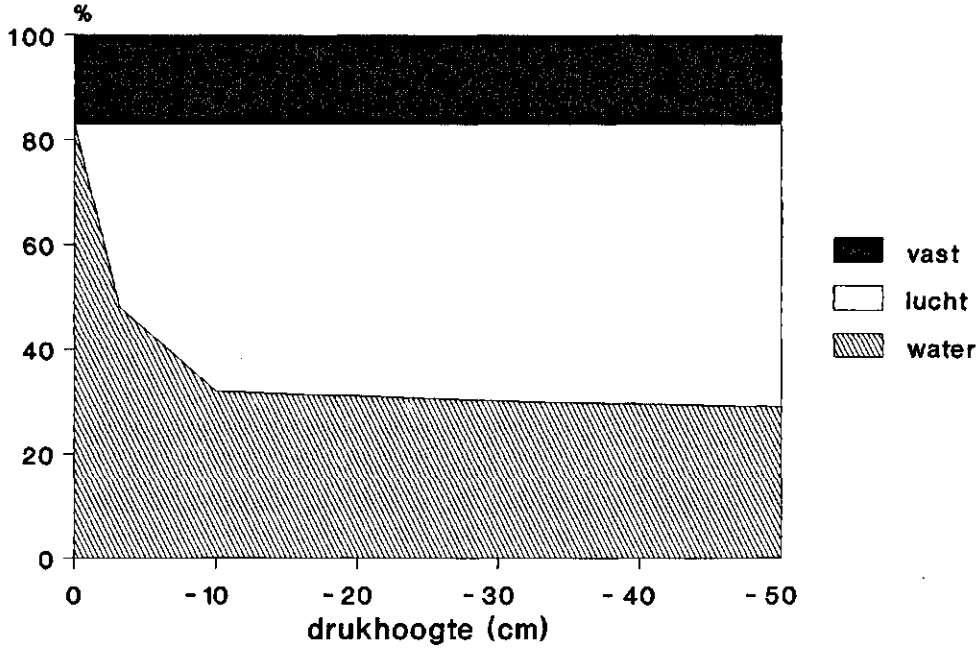
Puimsteen is een vulkanisch produkt en wordt in Nederland verhandeld als Pumice stone en Flugsand. Puimsteen ontstaat als gloeiend materiaal bij een vulkaanuitbarsting wordt weggeslingerd, waarbij het in de lucht snel stolt. Hierdoor worden luchtbellen ingesloten wat het materiaal een poreuze structuur geeft. Puimsteen heeft veel toepassingen buiten de tuinbouw. Het wordt gebruikt in de weg- en waterbouw maar ook bijvoorbeeld bij het zogenaamde 'stonewash'-proces bij spijkerbroeken en als polijstmiddel in tandpasta.
Puimsteen wordt toegepast bij anjer op folie in een laag van 11 cm met een drain. Ook amaryllis groeit in puimsteen in goten waarin koel- en verwarmingsslangen liggen. Met andere gewassen, zoals komkommer en chrysant, worden momenteel proeven gedaan met dit substraat.



Puimsteen

Eigenschappen

Puimsteen is veel lichter en bevat meer poriën dan lava. Het kan daardoor zowel veel water als lucht bevatten. Er is puimsteen beschikbaar van verschillende herkomsten. De belangrijkste bronnen voor Nederland zijn IJsland en Duitsland. Onbewerkt Duits puimsteen (flugsand) is niet geschikt als substraat omdat het materiaal onder bouwland wordt gewonnen en daardoor ziektekiemen en onkruidzaden kan bevatten. Bovendien zitten in Duits puimsteen zeer veel fijne delen (klei) waardoor het luchtgehalte laag is en er verstoppingen in het drainsysteem kunnen ontstaan. Wanneer de fijne delen eruit worden gehaald en het gesteriliseerd is, heeft het dezelfde eigenschappen als het IJslandse puimsteen. Puimsteen is inert, heeft een pH van 6.5 tot 7.0 en een zeer lage EC.
Puimsteen is een stevig gesteente en daardoor zeer duurzaam. Het kan meerdere jaren worden toegepast en gestoomd worden. Puimsteen is niet composteerbaar.



Figuur 5.9. Vochtkarakteristiek van puimsteen (2 - 4 mm); $\rho = 456$ kg.m^{-3}.

5.10. Steenwol

Steenwol wordt gemaakt door basalt en kalksteen na toevoeging van cokes te smelten bij 1600°C. Deze hete lava wordt op een snel ronddraaiende schijf gegoten waarna het materiaal weggeslingerd wordt en stolt waardoor lange dunne vezels ontstaan. Aan deze vezels worden nog bindmiddelen en een stof toegevoegd om de wateropneembaarheid te vergroten. Van 1 m^3 grondstof kan 90 m^3 steenwol gemaakt worden. Steenwol komt overigens ook in de natuur voor. Bij sommige erupties van Hawaïaanse vulkanen worden zeer vloeibare druppels lava uitgeworpen. Hierbij trekken de druppels draden achter zich aan die in de lucht afkoelen. Deze draden van natuurlijk gesponnen glas kunnen door de wind kilometers worden meegenomen en staan bekend als Pele's haar. Pele is de legendarische godin van de Hawaïaanse vulkanen. Toen in 1840 een aantal Amerikaanse natuurkundigen op één van de Hawaii-eilanden waren voor een bezoek aan de grootste werkende krater ter wereld, de vulkaan Kiauea, werd een

wollige substantie gevonden. De plaatselijke bevolking had hiervoor de volgende verklaring: "Het waren de haren van de godin Pele die deze vulkaan bewoont. Wanneer zij boos was, omdat de bevolking haar slecht gestemd had, rukte zij zich het haar uit het hoofd en gooide dit uit de krater. Dit ging gepaard met donderend geweld." In 1865 werd in de USA voor het eerst steenwol in de fabriek gemaakt voor isolatie. In 1969 slaagde Grodan er in om steenwol geschikt te maken als substraat.

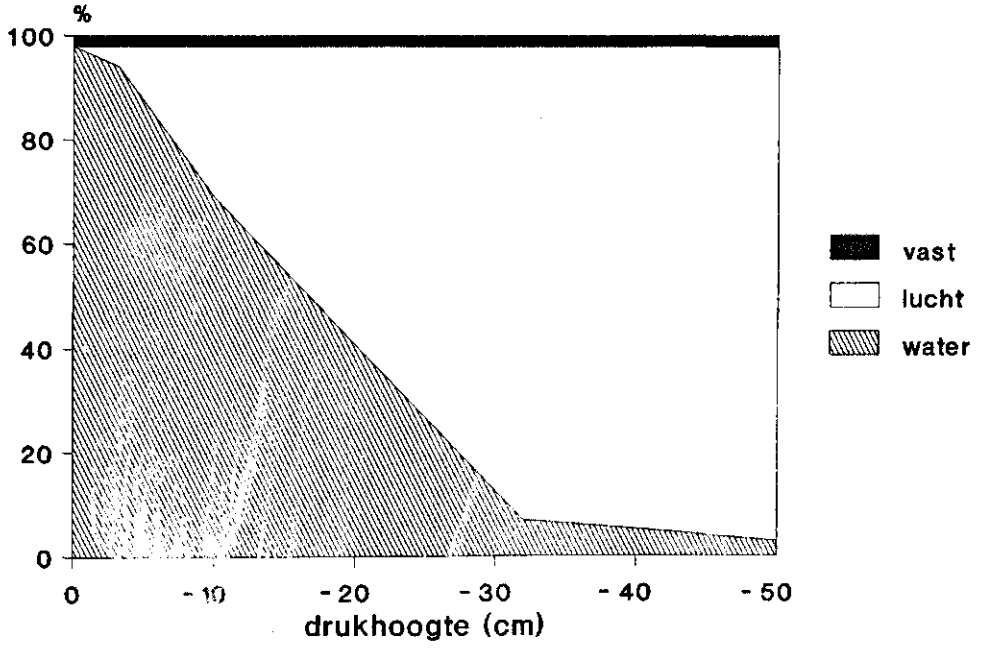
Steenwol wordt bij veel vruchtgroentegewassen (tomaat, komkommer, parika en aubergine) gebruikt en is dan ook het belangrijkste substraat. Ook zijn goede ervaringen met gerbera, roos, gypsophila, aster en bouvardia.



Steenwol

Eigenschappen

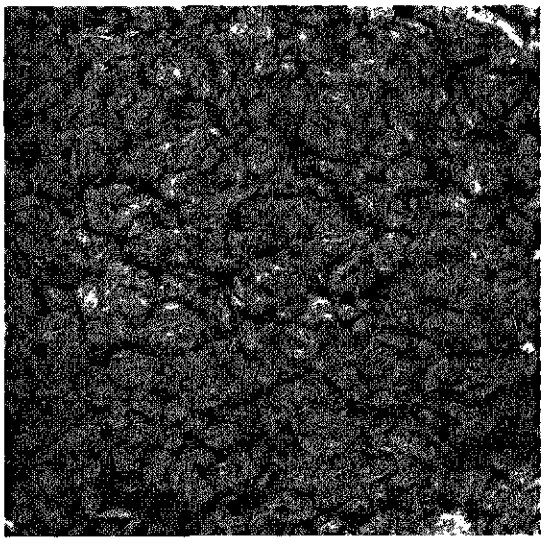
Steenwol is erg licht, bevat veel water en, zeker in de bovenste laag, veel lucht. Een nadeel is dat steenwol onderin altijd zeer nat is en dus weinig lucht bevat. Het materiaal is inert, heeft een hoge pH (boven 7) en een erg lage EC. Steenwol kan in de loop van de tijd veranderen van kwaliteit onder invloed van zuren. De steenwolvezel lost namelijk op bij een lage pH. Bij normaal gebruik zal er niet veel gebeuren en kan steenwol meerdere jaren gebruikt worden. Als er echter te zuur gedruppeld wordt, zakt steenwol in en daalt het luchtgehalte sterk. Steenwol is goed te stomen. Recycling is mogelijk via de 'briketten-technologie'. De steenwol wordt dan eerst gedroogd en verkruimeld. Daarna worden na toevoeging van cement en een klein beetje water steenklinkers geperst. De steenklinkers dienen weer als grondstof voor de steenwolproduktie.



Figuur 5.10. Vochtkarakteristiek éénjarige steenwolmat; ρ = 52 kg.m^{-3}.

5.11. Steenwolgranulaat

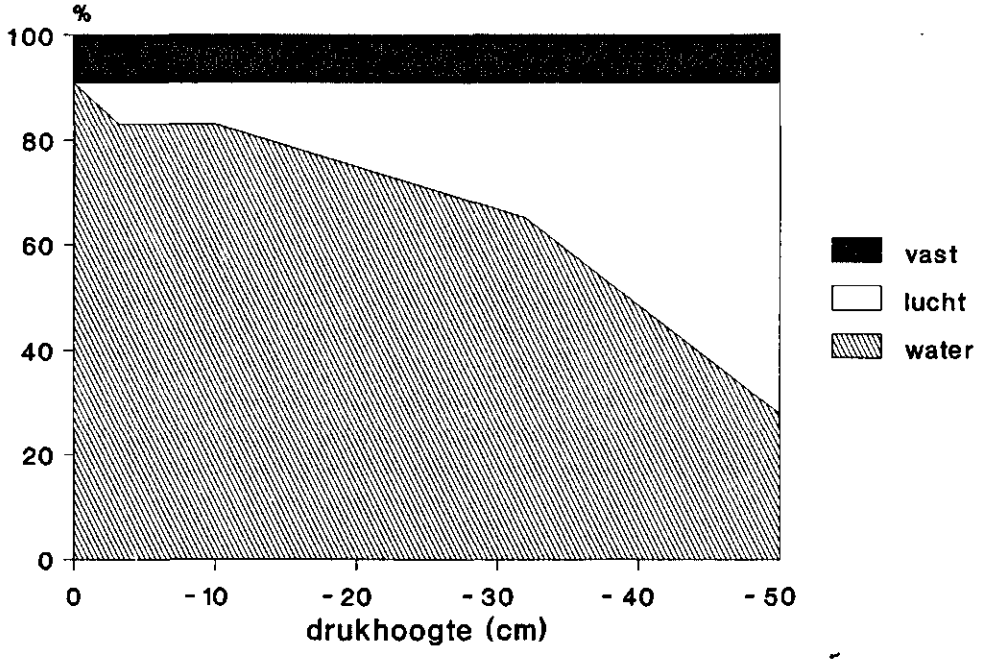
Steenwol voor granulaat wordt op dezelfde manier gemaakt als voor steenwolmatten. Het verschil met de matten is dat er geen bindmiddel wordt toegevoegd. Aan de vezels kunnen eventueel deels waterafstotende stoffen toegevoegd worden zodat er wateropnemende en waterafstotende steenwolgranulaat ontstaat. Grodan brengt een nieuw granulaat op de markt, het zogenaamde 'blokjes-granulaat'. Dit zijn blokjes steenwol die gemaakt worden door steenwolmatten te versnijden. Aan de blokjes wordt ook een zwarte kleurstof toegevoegd.
Steenwolgranulaat wordt toegepast bij met name Cymbidium, Anthurium en Freesia. Het granulaat wordt ook in mengsels gebruikt met bijvoorbeeld poly-urethaanschuim voor bijvoorbeeld Alstroemeria en orchideeën. Hierbij wordt alleen het wateropnemende steenwolgranulaat gebruikt omdat poly-urethaanschuim vaak een te geringe vochtbuffer heeft.



Steenwolgranulaat

Eigenschappen

Steenwolgranulaat is zwaarder dan de steenwolmatten en is dan ook in de wateropnemende vorm zeer vochthoudend. De waterafstotende vorm neemt geen water op. Het granulaat is zwaarder dan de steenwolmat omdat er geen bindmiddel is toegevoegd. De pH in nieuwe steenwol is relatief hoog (boven 7). Bij een lage pH kan het materiaal aangetast worden.

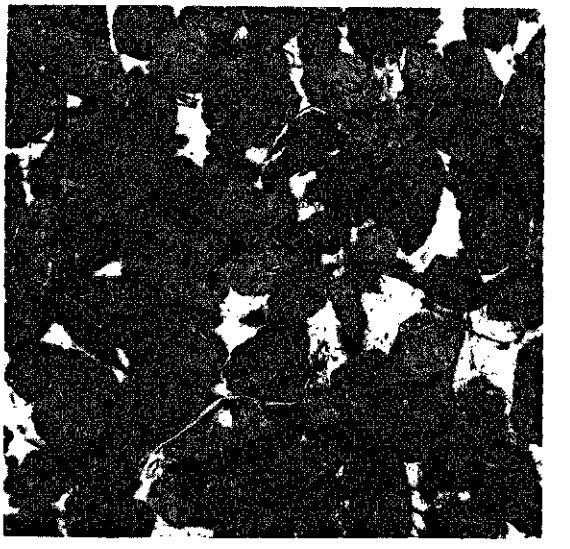


Figuur 5.11. Vochtkarakteristiek fijn wateropnemend steenwolgranulaat; ρ = 230 kg.m^{-3}.

Steenwolgranulaat zakt gedurende het gebruik in; de structuurstabiliteit is dus matig. Bij een juiste behandeling is meerjarig gebruik wel mogelijk. Bij stomen verdwijnt het waterafstotend karakter gedeeltelijk. Hierdoor wordt het luchtgehalte te laag.
Steenwolgranulaat kan gerecyceld worden. Het is niet composteerbaar maar zal door inwerking van zuren en krachten van buitenaf wel afbreken en verweren. Mengsels met poly-urethaanschuim leveren in de afvalwerking problemen op omdat de stoffen gescheiden moeten worden.

5.12. Veen

Veen ontstaat als door plaatselijke omstandigheden plantenresten niet of nauwelijks verteren. Die omstandigheden kunnen klimatologisch zijn (koud) en hydrologisch (slechte ontwatering). Veen wordt gewonnen in onder meer Duitsland, Ierland, de Scandinavische landen, de Baltische staten en Canada.
Veen wordt al bij veel gewassen met succes toegepast: aster, bouvardia, alstroemeria, gypsophila, gerbera, anjer en roos. Daarnaast worden proeven uitgevoerd met chrysant, paprika en tomaat.

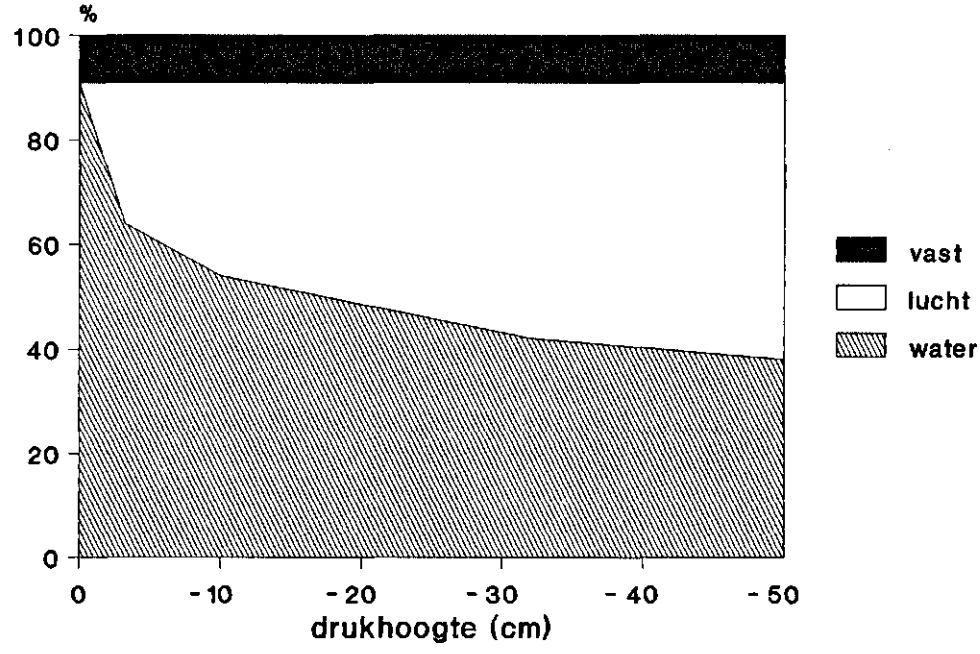


Veen

Eigenschappen

Er zijn vele verschillende kwaliteiten op de markt: van weinig verteerd (veenmosveen en turfstrooisel) tot sterk verteerd (tuinturf) met grote verschillen in deeltjesgrootte. Hierdoor is ook het toepassingsgebied breed. Van groot belang is dat er 'maagdelijke' veenprodukten gebruikt worden zodat er geen planteziekten en onkruiden voorkomen in het veen. Dit is overigens van groot belang bij alle produkten die afgegraven worden. Veen bevat meestal veel water. Het luchtgehalte is sterk afhankelijk van de fijnheid van het produkt. Als substraat wordt meestal een grof, matig verteerd veen gekozen omdat dit een hoog lucht- en watergehalte combineert met een redelijke structuurstabiliteit.
De keuze hangt nauw samen met de gebruiksduur. Bij toepassing als substraat is basisbemesting noodzakelijk. Daarnaast moet bij meerjarige toepassing extra aandacht besteed worden aan de bemesting met spoor-elementen omdat deze voor een deel worden vastgelegd door het veen. De mate van vastleggen is sterk afhankelijk van de soort veen. Weinig verteerd veen legt weinig vast. Veen heeft van nature een lage pH, tussen 3.5 en 4.0, en zal bekalkt moeten worden alvorens het kan worden toegepast.
Bij veen kan in de tijd de deeltjesgrootte afnemen (afbraak). De mate van verfijning is mede afhankelijk van mechanische bewerking en bodemleven. Uit proeven bleek dat in dunne substraatlagen het gehalte aan fijne delen gering moet zijn om een goede zuurstofvoorziening voor een langdurige teeltperiode te waarborgen. In Nederland en Ierland worden proeven gedaan om de invloed van stomen te onderzoeken. Meerdere malen stomen blijkt niet of nauwelijks invloed te hebben op de structuur en de fractieverdeling.

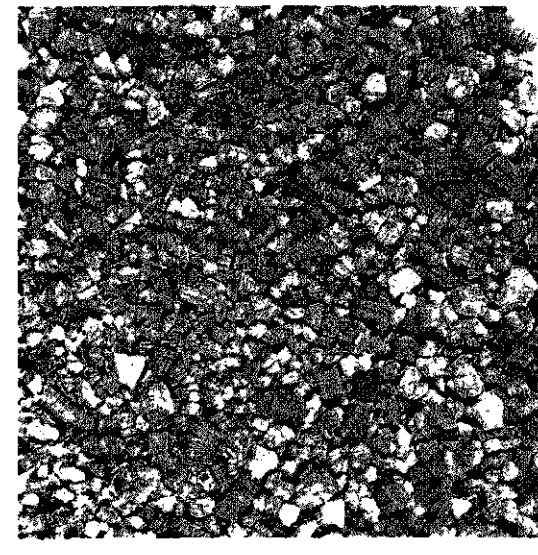
Veen is composteerbaar en kan wellicht als bodemverbeteraar toegepast worden of worden opgewerkt tot tuingrond in de hobbysfeer.



Figuur 5.12. Vochtkarakteristiek Iers veen (4 - 8 mm); ρ = 139 kg.m^{-3}.

5.13. Vermiculiet

Vermiculiet wordt op soortgelijke wijze geproduceerd als perliet, alleen heeft dit materiaal een gelaagde structuur. Tussen de laagjes bevindt zich mineraalwater. Als het erts in een oven gebracht wordt van 1000°C dan gaat het water over in dampvorm waardoor de laagjes uit elkaar gedrukt worden. Vermiculiet bestaat daardoor uit harmonika-vormige korrels.
Bij lelie en tulp zijn een paar proeven gedaan met vermiculiet. Het gewas groeide hier goed op. Wel waren er problemen met oogsten omdat het materiaal te weinig stevigheid bood waardoor naburige bollen meekwamen met oogsten. Vermiculiet wordt ook gebruikt als zaaimedium en bij het afstrooien van zaaimedia.

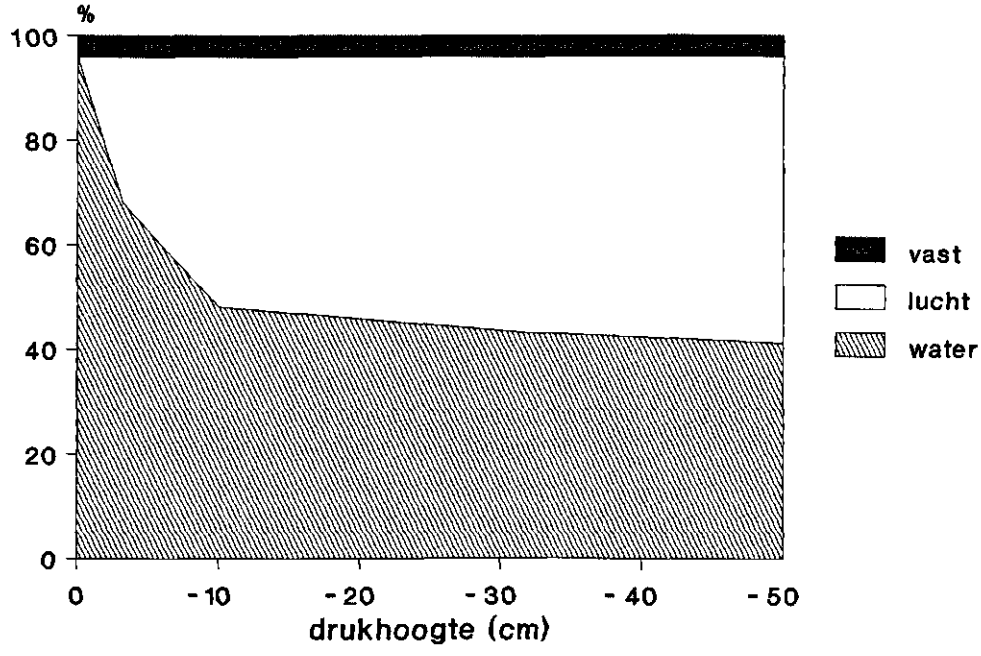


Vermiculiet

Eigenschappen

Vermiculiet is zeer poreus en licht en kan veel water en veel lucht bevatten.
De pH is neutraal (7.0) en de EC is laag.
Vermiculiet is meestal minder geschikt als substraat omdat de structuurstabiliteit niet groot is, het zakt makkelijk in. Hierdoor verslechteren de fysische eigenschappen wat meerjarig gebruik als substraat twijfelachtig maakt. Er zijn over

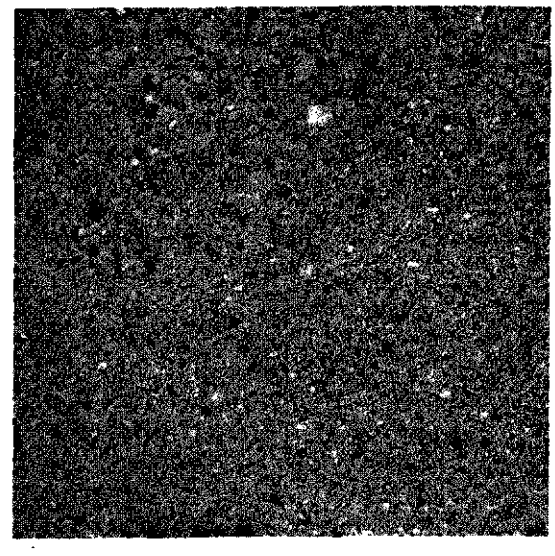
meerjarig gebruik geen proeven bekend. Wel is bekend dat het materiaal niet stoombaar is want vermiculiet verweert door verhitting.
Mogelijk dat het meegecomposteerd mag worden met groenafval.



Figuur 5.13. Vochtkarakteristiek vermiculiet (2 - 5 mm); ρ = 101 kg.m^{-3}.

5.14. Zand

Zand is de verzamelnaam voor granulaire materialen die voor het grootste deel uit kwarts bestaan en qua korrelgrootte liggen tussen 0.05 en 2 mm. In Nederland wordt voornamelijk rivierzand gebruikt. Duinzand mag tegenwoordig niet meer gewonnen worden en kan daarom als substraat alleen locaal worden toegepast. Het meest gebruikte zand is afkomstig uit afzettingen uit het Laat Pleistoceen (10.000-150.000 jaar geleden). In Noord en West Europa heerste toen gedurende enige perioden een ijstijd waarbij het landijs zich tot in onze streken uitstrekte. Aan de randen van de ijskap ontstonden bij temperaturen boven nul grote smeltwaterstromen die allerlei gesteente-materiaal met zich meevoerden. In deze zogenaamde vlechtende systemen wisselde de stroomsnelheden van het water sterk, waardoor het materiaal dat werd afgezet ook sterk van korrelgrootte wisselde. Vandaar dat het zand afkomstig uit deze lagen meestal niet uniform van kwaliteit is.



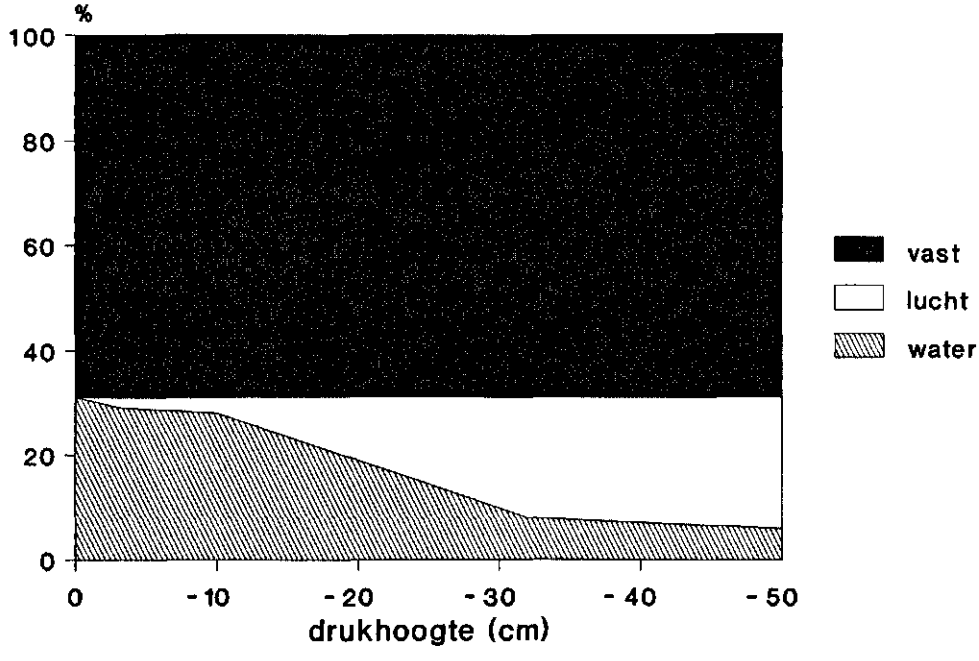
Zand

Voor de asfaltindustrie wordt tegenwoordig zogenaamd 'brekerzand' geprodu-

ceerd. Bij dit procédé wordt grind met een breker verkleind tot materiaal met een uniforme korrelgrootteverdeling. Wellicht dat dit materiaal voor toepassing als substraat geschikt is. Onderzoek hier naar vindt momenteel plaats.
Er zijn heel veel verschillende zandprodukten op de markt. Veelal worden deze afgegraven of gezogen bij de rivieren uit de zogenoemde 'zandgaten'.
Anjers, chrysanten, lelie's en Freesia's zijn proefgewijs met succes geteeld op zand. In de praktijk wordt het alleen nog maar voor anjer gebruikt (4-5 ha).

Eigenschappen

Zand is erg zwaar, heeft een kleine waterbuffer en vaak een laag luchtgehalte. Dit komt doordat zand weinig grove poriën bevat. In dunne lagen bevat het namelijk, evenals de meeste kasgronden, te weinig lucht. Voor substraat komt daarom grof zand het meest in aanmerking.
Een probleem van zand is dat het meestal niet in een bepaalde fractie te koop is. Dat betekent dat per partij de grofheid kan veranderen. Aangezien de grofheid het luchtgehalte bepaalt, kan per partij het luchtgehalte sterk variëren. Het produkt is dus niet in een constante kwaliteit te verkrijgen. Momenteel wordt onderzoek verricht naar gezeefde en gebroken zandsoorten die uniformer zijn. Uiteraard is dit materiaal duurder.
Zand is inert. De pH varieert afhankelijk van het kalkgehalte. De EC loopt uiteen afhankelijk van de herkomst.
Zand kan gebruikt worden in lagen vanaf 10 cm. Het is onverstandig om zuurstofgevoelige gewassen op dit substraat te telen, tenzij het zand weinig fijne delen bevat.



Figuur 5.14. Vochtkarakteristiek matig grof rivierzand; ρ = 1822 kg.m^{-3}.

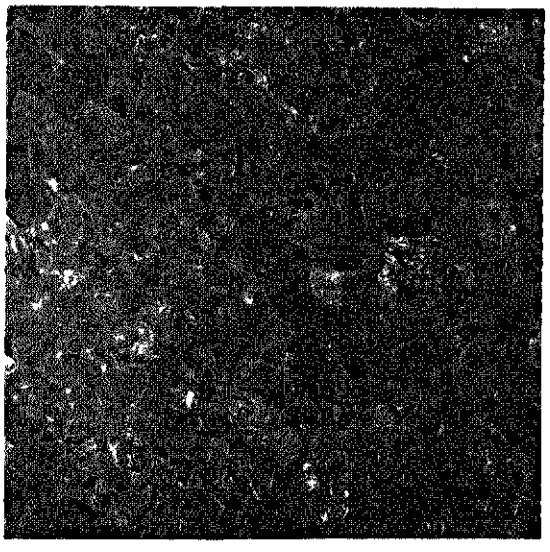
Zand is goed te stomen. Bij dunne lagen moet er wel rekening mee gehouden worden dat de poriën snel vollopen met water wat het stomen moeilijker maakt.
Zand is niet afbreekbaar en dus niet composteerbaar. Mogelijk dat het in de wegenbouw nog een toepassing kan vinden.
Verder is zand zeer duurzaam doordat het zowel chemisch als biologisch niet aantastbaar is.

5.15. Overige substraten

In de voorgaande paragrafen zijn de belangrijkste substraten genoemd. Uiteraard zijn er veel meer materialen die gebruikt worden of werden als substraat. In deze pragraaf worden een aantal van deze materialen genoemd en wordt aangegeven waarom deze geen opgang vinden als substraat.

5.15.1.Kunststoffen

Er zijn zeer veel kunststoffen die gebruikt kunnen worden als wortelmedium. Een aantal zijn al genoemd: poly-urethaan en fenolhars. Overigens zijn ook niet alle poly-urethaan- en fenolharssoorten geschikt als wortelmedium.
Andere kunststoffen zijn: poly-acrylamide en ureumformaldehyde. Poly-acrylamide is een gel-achtig materiaal dat enorm opzwelt als er water toegevoegd wordt. Het wordt dan ook als vochtabsorberend materiaal gebruikt in ondermeer luiers. Het produkt is korte tijd in Nederland op de markt geweest als Viterra. Er zijn ook een aantal proeven met deze gel gedaan. Als wortelmedium voldeed het maar matig omdat de planten weinig stabiel stonden op de gel en omdat het volume van de gel sterk aan verandering onderhevig was. Het volume wordt namelijk heel sterk beïnvloed door de EC. Ureumformaldehyde wordt in Groot-Brittanië gebruikt. In Nederland vindt het nog weinig opgang omdat de tot nu toe geleverde partijen slecht water opnamen en resten van ammoniak en formaldehyde bevatten.



Poly-acrylamide

Ook polystyreen is een kunststof die gebruikt wordt als bestanddeel van potgrond. Het kan alleen in mengsels met wateropnemende materialen gebruikt worden omdat het zelf totaal geen water opneemt. Overigens bevat polystyreen veel gesloten poriën en draagt daarom niet bij aan het verhogen van het luchtgehalte in een mengsel.

5.15.2. Organische produkten

Veel organische produkten zijn getest als wortelmedium: boomschors, kurk, rijstekaf, bladgrond, GFT-compost, papier, vlas en jute.
Schorsprodukten, zoals boomschors en kurk, zijn onbewerkt niet te gebruiken omdat er voor de plant schadelijke stoffen in zitten. Daarom moet dit soort produkten ook eerst gecomposteerd worden. Het risisco blijft dat er stoffen vrijkomen als het composteringsproces niet goed verlopen is. Daarom worden gecomposteerde schorsprodukten in Nederland niet als puur substraat gebruikt. Gecomposteerde schors van denne- en sparrebomen worden wel in potgrondmengsels gebruikt. Gecomposteerde schors wordt in Noord-Amerika puur toege-

past als alternatief voor veen.
Rijstekaf wordt als bestanddeel van potgrond gebruikt. Een paar jaar geleden is rijstekaf ook als mat op de markt geweest, waarbij rijstekaf werd verlijmd met een poly-urethaanlijm. De mat is geen succes geworden vanwege de hoge prijs en de erg kleine waterbuffer. Bovendien kwamen er insekten en zelfs muizen in voor die het materiaal opaten. Dit is overigens een punt waar met meer organische produkten rekening mee gehouden moet worden. Vaak worden organische produkten aangetast door micro-organismen maar ook door andere kleine dieren. Het komt bijvoorbeeld wel eens voor dat bepaalde lichte veensoorten door regenwormen omgezet worden waardoor het veen sterk inzakt.
Blad- en naaldengronden werden veel in traditionele teelten gebruikt, zeker als er geen veen aanwezig was. Het zijn onvoorspelbare produkten waaruit gedurende de teelt allerlei stoffen door afbraak vrijkomen. Als substraatbestanddeel zijn deze produkten daarom minder geschikt.
GFT-compost is momenteel in pure vorm niet geschikt als substraat, voornamelijk door het hoge zoutgehalte. Momenteel worden proeven gedaan op het proefstation in Boskoop om te bezien of het mogelijk is compost als bestanddeel van veenmengsels te gebruiken voor de boomteelt.
Gerecyceld oud papier is eens getest als wortelmedium. Dit voldeet niet omdat er schadelijke stoffen inzaten.
Met vlas- en jutevezels zijn oriënterende proeven gedaan. Vooral vlas voldeed niet omdat het gedurende de teelt sterk ging verteren.



Rijstekaf

6. VERDAMPING EN WATERVOORRAAD

6.1. Verdamping

De verdamping kan worden onderscheiden in de verdamping via de huidmondjes van planten (transpiratie) en de verdamping van natte oppervlakken (evaporatie). De som van beide wordt de evapotranspiratie genoemd.
De transpiratie wordt al gedurende lange tijd op het proefstation in Naaldwijk bestudeerd. De grootte van de transpiratie is afhankelijk van het seizoen, het gewas, het groeistadium en het kasklimaat. Voor een aantal gewassen zijn gedetaillerde verdampingsmetingen uitgevoerd. Er bleek een lineaire relatie te bestaan tussen de globale straling en de transpiratie:

$$E_t = P \times a$$

Hierin stelt E_t de transpiratie ($mm.dag^{-1}$) voor, P de globale straling ($J.cm^{-2}.dag^{-1}$) en a een factor. De factor varieert voor de verschillende gewassen van 0.0017 tot 0.0020. Voor tomaat is deze bijvoorbeeld 0.00178. De werkelijke transpiratie kan nog aanmerkelijk hoger zijn als er gestookt wordt, zie tabel 6.1.

Tabel 6.1. Gemiddelde dagelijkse transpiratie van tomaat per maand.

periode	straling*	verdamping t.g.v. straling**	verdamping t.g.v. stoken***	totale verdamping
	$J.cm^{-2}.dag^{-1}$	mm dag^{-1}	mm dag^{-1}	mm dag^{-1}
januari	228	0.41	1.20	1.61
februari	455	0.81	1.10	1.91
maart	844	1.50	0.98	2.48
april	1377	2.45	0.75	3.20
mei	1810	3.22	0.28	3.50
juni	1956	3.48	0.10	3.58
juli	1787	3.18	0.05	3.23
augustus	1548	2.76	0.05	2.81
september	1070	1.90	0.05	1.95
oktober	626	1.11	0.30	1.41
november	285	0.51	0.57	1.08
december	180	0.32	0.70	1.02

* gemiddelde over een periode van 10 jaar
** volgroeide plant (verdamping = straling * 0.00178)
*** volgroeide plant (verdamping = graaduren * 0.00022)

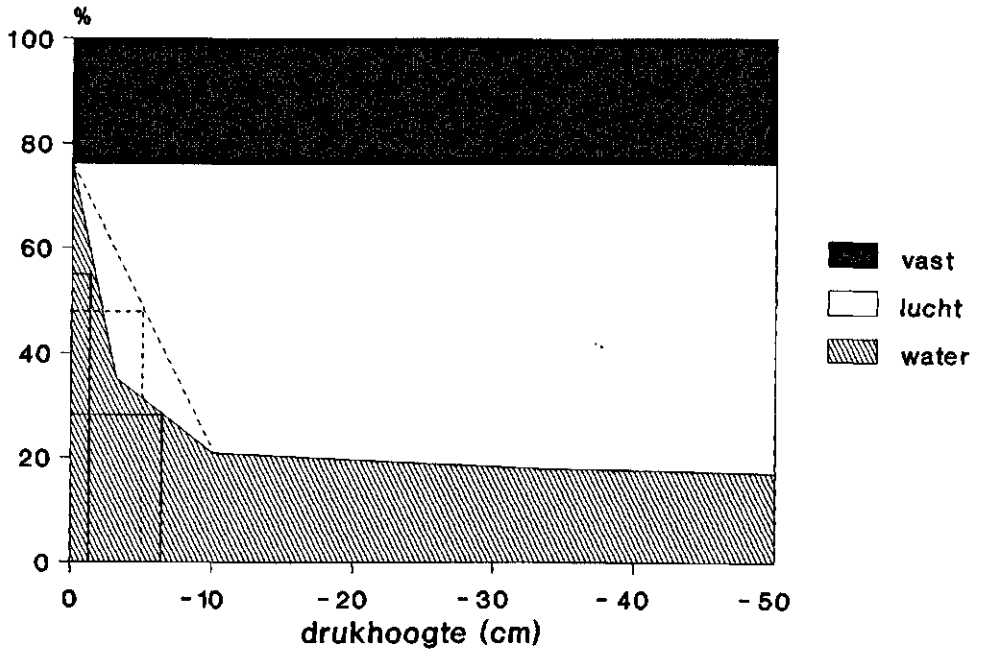
Met deze gegevens zijn modellen ontwikkeld waarmee de grootte van de waterbehoefte kan worden geschat. Deze modellen worden steeds meer in de praktijk toegepast. Voor meer informatie hierover wordt verwezen naar brochure 87: Plantenvoeding in de glastuinbouw.

De evaporatie bestaat voornamelijk uit de verdamping van het substraat, maar ook de verdamping van een nat gewas wordt tot de evaporatie gerekend. In de substraatteelt speelt de evaporatie alleen een rol van betekenis als het substraat niet is afgedekt. In zo'n situatie kan de evaporatie uiteenlopen van bijna 0 tot 50% van de evapotranspiratie, respectievelijk bij een volledig gesloten gewas en bij jonge planten. Voor tomaten in veen is gemeten dat de evaporatie gemiddeld over een heel seizoen ongeveer 10% van de evapotranspiratie bedroeg.
Naast de factoren die genoemd zijn bij de transpiratie is de grootte van de evaporatie vooral afhankelijk van de poriëngrootteverdeling en het watergehalte van het substraat, met name in de toplaag. In grove substraten met een geringe capillaire opstijging bijvoorbeeld kan de evaporatie groter zijn dan de capillaire aanvoer, waardoor de toplaag snel uitdroogt. Hierdoor ontstaat een isolerende laag waardoor de evaporatie tot bijna nul gereduceerd wordt. Fijne substraten blijven evaporeren waardoor er ook verzouting optreedt in de bovenste laag, zeker als vanaf de onderkant water gegeven wordt.
Bij het berekenen van de watergift dient dus bij niet afgedekte substraten rekening te worden gehouden met de evaporatie. In de eerder genoemde watergeefrekenmodellen wordt dit indirect gedaan doordat de hoeveelheid drainwater in de berekeningen is opgenomen.

6.2. Watervoorraad

De totale watervoorraad van een substraat is de hoeveelheid water die in het substraat achterblijft na uitlekken. Deze hoeveelheid is meestal niet in zijn geheel makkelijk opneembaar voor de plant. Makkelijk opneembaar water is immers het verschil tussen het volume water bij een drukhoogte van -10 cm en dat bij een drukhoogte van -50 cm (zie 4.4.). Het verschil tussen de totale watervoorraad en het minder makkelijk opneembaar water is de beschikbare watervoorrraad. Hoe groter deze voorraad, hoe beter onregelmatigheden (bijvoorbeeld storingen) in de watervoorziening kunnen worden opgevangen. Nadelen van een grote beschikbare watervoorraad kunnen zijn dat de water- en meststoffenvoorziening minder goed stuurbaar is en dat de zuurstofvoorziening van de wortels minder kan worden. Met behulp van figuur 6.1. wordt hieronder getoond hoe de beschikbare watervoorraad van een substraat berekend kan worden.

Allereerst dient een gewogen gemiddeld volumepercentage water na uitlekken bepaald te worden. Hiervoor moet eerst de laagdikte bekend zijn. Bij een substraatlaag van bijvoorbeeld 10 cm moet dus het drukhoogtetraject van 0 tot -10 cm worden beschouwd. Om het gewogen gemiddelde te berekenen wordt het traject in stukken verdeeld. Dit is nodig omdat in het routine-onderzoek het vochtpercentage wordt gemeten bij 0, -3, -10, -32, -50 en -100 cm. Dit betekent dat in dunne lagen, bijvoorbeeld 10 cm, het traject in twee delen moet worden verdeeld, namelijk van 0 tot -3 cm en van -3 tot -10 cm (zie figuur 6.1.) Is de laag dikker dan dienen drie trajectdelen te worden beschouwd. Meer trajecten komen praktisch niet voor omdat subtraatlagen dikker dan 32 cm economisch onaantrekkelijk zijn.



Figuur 6.1. Berekening van de beschikbare watervoorraad uit de vochtkarakteristiek.

Per traject wordt het gemiddelde vochtpercentage berekend met de cijfers uit de bijlage, danwel afgelezen uit de vochtkarakteristiek: bij een laag van 10 cm bij h=-1.5 cm en h=-6.5 cm, in figuur 6.1. is dat respectievelijk 55 en 28%. Het gewogen gemiddelde, wat dus de totale watervoorraad is, kan nu als volgt berekend worden:

$$(3/10) \times 55 + (7/10) \times 28 = 36\%,$$

wederom bij een laagdikte van 10 cm. Zou in plaats van een gewogen gemiddelde een algemeen gemiddelde zijn berekend dan zou dit 48% zijn (stippellijn in figuur 6.1., aflezen bij h=-5 cm), dit is een veel te hoge schatting.
Vervolgens wordt uit de vochtkarakteristiek het vochtpercentage bij h=-50 cm afgelezen. Het verschil tussen het gewogen gemiddelde percentage en dat bij h=-50 cm is de beschikbare watervoorraad in procenten van het substraatvolume. De hoeveelheid water wordt verkregen door het volume van het substraat te vermenigvuldigen met het percentage beschikbare watervoorraad.

Voorbeeld
Vergelijking van de beschikbare watervoorraad bij een rijenteelt op steenwolmatten van 7.5 x 15 cm en kleikorrels in librabakken met dezelfde inwendige afmetingen.

De vochtkarakeristiek van steenwol (figuur 5.10.) wordt in twee delen verdeeld (0 tot -3 cm en -3 tot -7.5 cm); het gemiddelde percentage per traject aflezen bij h=-1.5 cm en h=-5.25 cm: respectievelijk 96% en 83%. Het gewogen gemiddelde vochtpercentage is nu:

$$(3/7.5) \times 96 + (4.5/7.5) \times 83 = 88\%.$$

Bij drukhoogte -50cm is het vochtpercentage 3% dus de beschikbare watervoorraad is:

$$88 - 3 = 85\%.$$

Voor kleikorrels (2 - 4 mm) kan dezelfde berekening worden uitgevoerd met behulp van figuur 6.1.:

- gewogen gemiddeld vochtpercentage na uitlekken:

$$(3/7.5) \times 55 + (4.5/7.5) \times 31 = 40.5\%.$$

- vochtpercentage bij h=-50 cm: 17%
- beschikbare watervoorraad:

$$40.5 - 17 = 23.5\ \%.$$

Een mat van 1 meter en een librabak hebben hetzelfde volume: 11.25 liter, dus de beschikbare watervoorraad per meter is voor steenwol:

$$11.25 \times 85\% = 9.5 \text{ liter}$$

en voor kleikorrels:

$$11.25 \times 23.5\% = 2.6 \text{ liter.}$$

Bij 4 rijen per kap (van 3.2 meter) is er per m^2 kasoppervlak 14 liter substraat. De beschikbare watervoorraad per m^2 is dan voor steenwol:

$$14 \times 85\% = 11.9 \text{ liter}$$

en voor kleikorrels:

$$14 \times 23.5\% = 3.3 \text{ liter.}$$

Op een zeer zomerse dag is de straling maximaal 3000 $J.cm^{-2}.dag^{-1}$. Bij tomaat is dan de verdamping:

$$E_t = P \times a$$
$$E_t = 3000 \times 0.00178 = 5.34\ mm.dag^{-1}.$$

Per m^2 is dit 5.34 liter per dag. Onder normale omstandigheden zal een substraat niet zover uitdrogen. Bij steenwol en veel andere substraten heeft indrogen zeer nadelige gevolgen omdat het wateropnemend vermogen na uitdrogen sterk afneemt; hoe droger het substraat geworden is hoe minder het water weer kan opnemen. De berekende beschikbare watervoorraad is een maximum en in de praktijk zal deze waarde altijd lager zijn.

De beschikbare watervoorraad bij kleikorrels is in vergelijking met steenwol erg klein. Dit wordt in de praktijk vaak ondervangen door een laag water onderin het substraat te laten staan. Dit is echter niet zonder risico zoals in proeven wel is aangetoond. De kans op wortelaantasting neemt in dergelijke situaties aanmerkelijk toe. Bij gebruik van kleikorrels zal dus veel frequenter water moeten worden

gegeven dan bij steenwol. Voor de berekening van de beschikbare watervooraad, als er een laagje water onderin het substraat staat, moet voor de onderste laag het maximale vochtgehalte genomen worden. Dit is bij een drukhoogte van 0 cm. En voor de bovenliggende lagen moet bedacht worden dat vanaf de waterspiegel de drukhoogte gemeten moet worden.

De grootte van de beschikbare watervoorraad kan ook een rol spelen bij de wijze van watertoediening. Wanneer van onderaf (bijvoorbeeld door middel van eb/vloed) water wordt toegediend, is het substraat na elke beurt in ieder geval onderin verzadigd. Het watergehalte in het substraat kan dus nauwelijks gestuurd worden. Bij grove substraten (met een kleine beschikbare watervoorraad) is dit geen probleem omdat het watergehalte ook vlak na watertoediening laag is. In substraten met veel fijne poriën (en dus een grote watervoorraad) kan dit nadelig zijn. Dit is bijvoorbeeld het geval wanneer men tegen het einde van een teelt het substraat zo droog mogelijk wil krijgen om het te kunnen stomen. In zo'n situatie wil men de watergift zoveel mogelijk afstemmen op de waterbehoefte van het gewas. In fijne substraten kan dit alleen als men van bovenaf water geeft.

LITERATUURLIJST

Hoofdstuk 2

Anonymus, 1992. Stomen. Technische handleiding bij het stomen van grond en -substraat. IKC-AT Aalsmeer, Naaldwijk. 88pp.

Bakker J.W. & J.T. Huinink, 1990. Bodemlucht. In: Locher W.P. & De Bakker H. (red.). Bodemkunde van Nederland. Malmberg, Den Bosch:181-187.

Feddes R.A. & J.T. Huinink, 1990. Warmtehuishouding. In: Locher W.P. & De Bakker H. (red.). Bodemkunde van Nederland. Malmberg, Den Bosch:189-196.

Klapwijk D. & J.C. Mostert (red), 1992. Richtlijnen voor potgronden en substraten. Informatiereeks No. 73. Proefstation voor de Tuinbouw onder Glas, Naaldwijk.

Ledieu, J., A. Ben Harrath, D. Xanthoulis & S. Dautrebande, 1985. Studie van de thermische en hydrologische eigenschappen van tuinbouwsubstraten en landbouwgronden. Landbouwtijdschrift 38(3):389-402.

Hoofdstuk 3

Adams P., 1989. Some effects of root temperature on the growth and nutrient uptake of tomatoes in NFT. Proceedings of the Seventh International Congress on Soilless Culture. ISOSC, Wageningen: 73-82.

De Willigen P. & Van Noordwijk M., 1987. Roots, Plant Production and Nutrient Use Efficiency. Doctoral Thesis, Agricultural University, Wageningen. 282 pp.

Jensen C.R., R.J. Luxmoore, S.D. Gundy & L.H. Stolzy 1969. Root air space measurement by a pycnometer method. Agronomy Journal 61:474-475.

Kawase, M., 1981. Anatomical and morphological adaptation of plants to waterlogging. HortScience 16:30-34.

Mackey A.D. & S.A. Barber, 1984. Comparison of root and root hair growth in solution and soil culture. Journal of Plant Nutrition 7:1745-1757.

Hoofdstuk 4

Boekel, P., 1961. De bepaling van het soortelijk gewicht van grond. Instituut voor Bodemvruchtbaarheid Groningen, Rapport IX.

Dean, J.A. (red.) 1973. Handbook of Chemistry. Mc Graw-Hill New York, USA.

De Boodt, M. & O. Verdonck, 1972. The physical properties of the substrates in horticulture. Acta Horticulturae 26:37-44.

Gabriëls, R. & O. Verdonck, 1991. Physical and chemical Characterization of Plant Substrates: Towards a European Standardization. Acta Horticulturae 294:249-259.

Klapwijk, D. & J.C. Mostert (red.), 1992. Richtlijnen voor de produktie van potgronden en substraten. Proefstations Naaldwijk, Aalsmeer en Boskoop, IKC Naaldwijk en RHP-Naaldwijk, Informatiereeks No. 73.

Leijn van Dijk, F.M., 1985. Ontwikkeling van fysische analysemethoden voor het vaststellen van de gebruikskwaliteit van steenwol. Proefstation voor Tuinbouw onder Glas, Intern rapport nr. 25.

Wever, G., M.H. Hertogh-Pon, 1990. New physical methods. Glasshouse Crops Research Station Naaldwijk, The Netherlands, Annual Report.

Wever, G., M.H. Pon, 1990. Fysische analysemethoden voor potgrond en veen: met aanpassingen 1989. Proefstation voor Tuinbouw onder Glas, Intern rapport nr. 31.

Hoofdstuk 5

Anonymus, 1991. Old media with new acclaim. Grower, september 5:10-13
Anonymus, 1991. Glaswol hoeft niet onder te doen voor steenwol. Agrarisch Dagblad 15 juni.
Ecker, E. & C. Wonner, 1988. Kompostierungsversuche an Oasis-Schaum auf Duroplasbasis. Laborgesellschaft für Umweltschutz mbH, Neustadt, Duitsland.
Griffioen, A. 1987. Aggrofoam wellicht een serieus alternatief substraat.
Vakblad voor de Bloemisterij 5:104-105.
Hartog, L.J. 1989. Lava is veel belovend medium bij teelt Anthurium andreanum. Vakblad voor de Bloemisterij 13:60-61.
Klapwijk, D. 1991. Aanbod substraten breidt uit. Houtvezel als half en eindprodukt bruikbaar. Vakblad voor de Bloemisterij 48:46-47.
Macdonald, G.A. 1972. Volcanoes. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, USA.
Rexilius, R. 1990. Kokosfasern für kultursubstrate. Deutscher Gartenbau
13:856-857.
Ruijs, O. & J. Kommer 1990. Telen op kleikorrels, schoon alternatief met goede verwachtingen. Vakblad voor de Bloemisterij 27:58-59.
Ruwiel, E.P.Th. 1990. Argex-korrels: een terugblik. Chemiewinkel van de Vrije Universiteit, Faculteit der Scheikunde, Amsterdam.
Sonneveld, C. 1991. Rockwool as a substrate for Greenhouse Crops. Biotechnology in Agriculture and Forestry, vol 17, High-Tech and Micropropagation I,
Springer Verlag, Berlin, Duitsland.Steiner, A.A. & J.J. Uittien, 1978. Gebakken kleikorrels als substraat bij hydrocultuur. Landbouwkundig Tijdschrift 9:1-6.
Verdonck, O. 1983. Wat is Aggro-foam. Nota Verdonck, Fakulteit van de Landbouwwetenschappen, Laboratorium voor Bodemfysika, Bodemkonditionering en tuinbouwbodemkunde, Gent, België.
Verdonck, O., D. de Vleeschauwer & R. Penninck, 1983. Cocofibre dust, a new growing medium for plants in the tropics. Acta Horticulturae 133:215-220.
Wilson, G.C.S. 1980. Perlite system for tomato production. Acta Horticulturae 99:159-166.

Hoofdstuk 6

Buma J. & W.P. Locher, 1990. Warmtehuishouding. In: Locher W.P. & De Bakker H. (red.). Bodemkunde van Nederland. Malmberg, Den Bosch:129-146.
Sonneveld C. & J.C. Mostert (red) 1993. Plantevoeding in de Glastuinbouw.
Proefstation voor de Tuinbouw onder Glas, Naaldwijk, Informatiereeks No. 87.

BIJLAGE: FYSISCHE EIGENSCHAPPEN VAN DIVERSE WORTELMEDIA.

	Substraat	Bulkdichth. ($kg.m^{-3}$)	Poriën (%)	Volumefractie water(W) lucht(L) bij verschillende drukhoogten (%)									
				-3cm		-10cm		-32cm		-50cm		-100cm	
				W	L	W	L	W	L	W	L	W	L
1	**Kokos produkten**												
	Cocospeat	82	95	90	5	80	15	48	47	45	50	41	54
	Kokosbrokjes	86	95	52	43	49	46	47	48	46	49	46	49
	Kokosvezel	50	97	17	80	8	89	6	91	6	91	6	91
2	**Fenolhars**												
	Fenolharsgrof (Oasis)	30	98	53	45	46	52	34	64	28	70	24	74
3	**Glaswol**												
	Glaswol	34	99	94	5	74	25	3	96	2	97	2	97
4	**Houtvezel**												
	Houtvezelmat	63	96	73	23	24	73	11	85	11	85	11	85
5	**Kleikorrels**												
	Kleikorrels (2-4mm)	627	76	35	41	21	55	18	58	17	59	17	59
	Kleikorrels (4-8mm)	469	82	16	66	12	70	11	71	10	72	10	72
	Kleikorrels (8-16mm)	481	82	15	67	12	70	11	71	11	71	10	72
	Kleikorrels gebroken	450	83	37	46	23	60	20	63	19	64	18	65
6	**Lava**												
	Lava Duitsland (0-3mm)	1389	47	45	2	40	7	23	24	20	27	18	29
	Lava Duitsland (1-4mm)	1284	51	14	37	12	39	9	42	9	42	7	44
	Lava Duitsland (2-5mm)	1214	53	21	32	20	33	17	36	17	36	15	38
7	**Perliet**												
	Perliet (0-1mm)	94	97	70	27	70	27	46	51	40	57	39	58
	Perliet (0.6-2.5mm)	107	96	56	40	35	61	26	70	23	73	21	75
	Perliet (1-7.5mm)	117	96	39	57	25	71	20	76	18	78	15	81
8	**Poly-urethaan**												
	Poly-urethaanmat	83	95	84	11	18	77	5	90	4	91	4	91
	Poly-urethaan (vlokken)	33	98	8	90	5	93	3	95	3	95	2	96
9	**Puimsteen**												
	Puimsteen IJsland(1-10mm)	406	85	57	28	45	40	42	43	41	44	39	46
	Puimsteen IJsland (2-4mm)	456	83	48	35	32	51	30	53	29	54	29	54
	Flugsand Duitsland	917	65	54	11	50	15	36	29	34	31	33	32

Substraat	Bulkdichth. ($kg.m^{-3}$)	Poriën (%)	Volumefractie water(W) lucht(L) bij verschillende drukhoogten (%)									
			-3cm		-10cm		-32cm		-50cm		-100cm	
			W	L	W	L	W	L	W	L	W	L
10 Steenwol												
Steenwol 1-jarig	52	98	94	4	69	29	7	91	3	95	2	96
11 Steenwolgranulaat												
Steenwolgranulaat wateraf	190	93	2	91	1	92	1	92	0	93	0	93
Steenwolgranulaat waterop	230	91	83	8	83	8	65	26	28	63	3	88
Steenwolblokjes	68	97	67	2	39	58	4	93	2	95	2	95
12 Veen												
Veen Ierland (4-8mm)	139	91	64	27	54	37	42	49	38	53	34	57
Tuinturf	157	90	84	6	81	9	60	30	55	35	50	40
Veenmosveen	77	95	84	11	82	13	51	44	44	51	36	59
13 Vermiculiet												
Vermiculiet (0-1.5mm)	158	94	84	10	80	14	49	45	44	50	41	53
Vermiculiet (2-5mm)	101	96	68	28	48	48	43	53	41	55	39	57
Vermiculiet (4-9mm)	107	96	61	35	48	48	43	53	43	53	41	55
14 Zand												
Rivierzand (matig grof)	1822	31	29	2	28	3	8	23	6	25	5	26
Zand (duin, fijn)	1825	31	31	0	30	1	27	4	14	17	8	23
Gebroken grind zand	1503	43	35	8	32	11	10	33	6	37	4	39
15 Overige												
Tuingrond (Zand)	1487	43	42	1	41	2	38	5	18	25	14	29
Grind (1-5mm)	1645	38	11	27	5	33	4	34	4	34	4	34
Rijstekafmat	144	91	32	59	21	70	20	71	19	72	19	72
Rijstekaf	116	93	40	53	12	81	10	83	10	83	10	83
Polystyreen (bolletjes)	12	99	3	96	2	97	1	98	1	98	1	98