

Afstudeeronderzoek:

Bomen op dakparken

Vernatting en verdroging

Door Roel Geurts
en Wilko van Ommeren

Afstudeerrichting: Planuitwerking en realisatie

Datum: 13-06-2013

Colofon

In opdracht van:



Colofon afbeelding: Movares en hogeschool Van Hall - Larenstein

Onderzoeksrapportage: Bomen op dakparken

Afstudeerrichting: Planuitwerking en realisatie

Auteurs:
Roel Geurts
Wilko van Ommeren

Studentnummers:
870803002
890920001

In opdracht van opdrachtgever/organisatie:
Hogeschool van Hall - Larenstein
Larensteinselaan 26a
6882 CT Velp

Movares B.V.
Leidseveer 10
3511 SX Utrecht

Jaar van uitgave: 2013

Datum van uitgave: 13 juni 2013

Druk: 1.0

Uitgever:

Repro, Hogeschool van Hall - Larenstein
Larensteinselaan 26a
6882 CT Velp

Bomen op dakparken

‘‘Wat is de optimale groeiplaatsinrichting voor bomen in dakparken met een kunstmatige waterstand?’’

VOORWOORD

Voorwoord

Daktuinen zijn in de loop der jaren verder onderzocht. Nieuwe ontwikkelingen vergroten de toepassing van daktuinen op steeds (ultra) lichtere daktuinen. Zeker voor kleinschalige daktuinen. Grote dakparken zijn in Nederland vrij uniek. Vochtvoorzieningen kunnen hier een probleem opleveren. Verdroging en vernatting zijn problemen die kunnen ontstaan op dakparken. Kortom: een interessant onderwerp voor een onderzoek.

Na een inspirerend gesprek met advies- en ingenieursbureau Movares zijn wij begonnen met het schrijven van een onderzoeksplan voor ons afstudeeronderzoek. In dit rapport proberen wij de succes- en faalfactoren te achterhalen van bestaande daktuinen en brengen in kaart wat onze conclusies en aanbevelingen zijn.

Dit rapport is geschreven voor adviseurs, ontwerpers en opdrachtgevers die te maken hebben met daktuinen met dergelijke problemen. Wij willen Movares, maar in het bijzonder de heer Tummers, de heer Kraak en de heer Jansen, bedanken voor hun begeleiding en informatie. Daarnaast willen wij Lilian van Oosterhoudt bedanken voor haar begeleiding op hogeschool van Hall - Larenstein. Ook willen wij de heer Kopinga bedanken voor zijn input over de verdamping van bomen en de heer Vlijm (Optigroen) en de heer Tummes (gemeente Sittard-Geleen) om hun ervaringen met ons te delen. Wij wensen u veel leesplezier.

Roel Geurts Wilko van Ommeren

Velp, 13 juni 2013

SAMENVATTING

Samenvatting

Daktuinen bestaan al een lange tijd in ons land. In de loop der jaren is er veel vooruitgang geboekt en zelfs op ultralichte daken kunnen ingenieurs de meest complexe daktuinen ontwikkelen. Echter, er zijn in Nederland ook een aantal grote dakparken gemaakt.

Dakparken zijn meestal voorzien van een vlottersysteem of druppelsysteem, maar er zijn ook dakparken met een permanente waterlaag gerealiseerd. Middels capillaire opstuwing dienen de bomen te worden voorzien van de juiste hoeveelheid vocht. Dit kan leiden tot vernatting en verdroging van bomen op dakparken wanneer men niet aan de behoefte van de boom voldoet of te veel water laat opstuwen.

Onze hoofdvraag luidt: ‘’Wat is de optimale groeiplaatsinrichting voor bomen in dakparken met kunstmatige waterstand?’’

Om antwoord te krijgen op de hoofdvraag wordt ons onderzoek als volgt opgebouwd:

Een literatuurstudie moet ons voorzien van de nodige basiskennis over dakparken, capillaire werking en groeiplaatsomstandigheden van bomen. Deze inzichten kunnen wij gebruiken bij het formuleren van onze conclusies en aanbevelingen.

Uit onze referentiestudie moet blijken welke ervaringen men in de praktijk heeft met deze dakparken. Deze gegevens kunnen onze conclusies beïnvloeden en zal meespelen bij het schrijven van aanbevelingen.

Om onze conclusies in praktijk te brengen, hebben wij een case verkregen van adviseurs- en ingenieursbureau Movares: De Tuinen van Nijverdal. In dit park dient een permanente waterlaag gerealiseerd te worden. Het park wordt aangekleed met bomen en gras.

Elke grondsoort of substraat heeft een ander waterbergend vermogen en een andere capillaire werking. De fractiegrootte, het lutum- en leemgehalte bepalen het waterbergend vermogen. Het toepassen van een extra laag substraat met grove fractie vergroot de waterbergende capaciteit van een dakpark en dient als overstort. Lavastenen zijn het beste substraat bij dakparken, met of zonder afschot, door hun hoge vochtabsorptie waarde en drainerend vermogen.

De capillaire werking is afhankelijk van de grootte van de poriën en het aantal procenten aan lutum en leemdeeltjes in het substraat. Hoe fijner de poriën, hoe groter de capillaire werking. De hoogte van de capillaire werking is afhankelijk van de stijgsnelheid (2 mm/dag) en de duur van het groeiseizoen (circa 180 dagen). Bij een te grote capillaire werking zal het vocht dusdanig hoog stijgen dat het wortelgestel van een boom in verzadigde grond komt te staan waardoor een zuurstoftekort optreedt.

Om te bepalen hoeveel water een boom verbruikt, dient de verdamping te worden berekend. Wij waren in de veronderstelling dat een boom minder zou verdampen naarmate de vochtvoorraad afneemt. Dit is niet het geval. De verdamping is te berekenen via twee methodes:

De methode van Makkink. Deze methode wordt gebruikt voor het berekenen van de verdamping van referentiegewassen.

De tweede methode is het berekenen van verdamping via bladverdamping. De heer Kopinga heeft onderzoek gedaan naar bladverdamping van verschillende soorten bomen. Uit dit onderzoek blijkt dat er veel verschil zit in bladverdamping van bomen. Dit heeft te maken met de fysische eigenschappen van een boom, maar ook met standplaats, nettostraling zon en luchttemperatuur.

Om het aantal liters bladverdamping te berekenen zal de kroonprojectie berekend moeten worden. Omdat een boomkroon uit verschillende vormen bestaat, zijn er verschillende formules om boomkronen te kunnen berekenen.

Uit onze referentiestudie blijkt dat de meeste dakparken met bomen worden uitgevoerd met een vlottersysteem of druppelsysteem die de bomen van water voorzien.

Wij vermoeden dat vlottersystemen en druppelsystemen de beheerder van een groter gemak voorziet dan een dakpark welke voor een groot deel afhankelijk is van neerslag. Het monitoren van de bevloeiingssystemen gebeurd tot op heden weinig.

Onze conclusies zijn toegepast op het ontwerp van Movares: de Tuinen van Nijverdal. Ons voorstel is om een drainage/bufferlaag van lavastenen toe te passen met daar bovenop een grove, lutum- en leemarme zandgrond. Het zand dient wel 3 tot 5 % aan organisch materiaal te bevatten. Door deze zandgrond toe te passen zal de capillaire opstuwing niet meer dan 36 cm bedragen, terwijl de bodem, in combinatie met de drainage/bufferlaag, capabel genoeg is om de bomen van vier weken vocht te voorzien.

INHOUDSOPGAVE

Inhoudsopgave

Voorwoord

Samenvatting

1.Inleiding 15

2.Onderzoeksplan 17
2.1. Onderzoeksvraag 17
2.2. Onderzoeksvorm 18
2.3. Doelgroep 18
2.4. Resultaatomschrijving/doelstelling 18
2.5. Afbakening 19

3. Daktuinsystemen 21
3.1. Redenering toe te passen groendaken 21
3.2. Opbouw groendak 22
3.3. Bevloeiingssystemen 30

4. Groeiplaatsomstandigheden 33
4.1. Bodembestanddelen 34
4.1.1. Poriën 34
4.1.2. Voedingselementen 36
4.1.3. Elementenvoorziening 39
4.1.4. Doorwortelbare ruimte 40

4.2. Capillaire werking 42
4.2.1. Introductie 42
4.2.2. Bodem in combinatie met capillaire werking 42
4.2.3. Periode van capillariteit 44
4.2.4. Hoeveelheid capillaire werking 45
4.2.5. Aantal liters 46
4.2.6. Daken met afschot 48
4.3. Vochtvoorraad 49
4.3.1. Bodem 49
4.3.2. Vochtaanvod via neerslag 51
4.4. Vochtverlies 52
4.4.1. Belang van water 52
4.4.2. Afsterven parenchymcellen 52
4.4.3. Fotosynthese 52
4.4.4. Bloedingen 52
4.4.5. Proces na verdamping 53
4.5. Verdamping 53
4.5.1. Factoren 54
4.5.2. Potentiële- en actuele verdamping 57
4.5.3. Berekenen van verdamping 58

5. Referentiestudie 65
5.1. Dakpark, Barendrecht 67
5.2. Park Overbos, Breda 73
5.3. Odaparking, Sittard 77

6. Conclusies 81
6.1. Beantwoording hoofdvraag 81
6.2. Aanbevelingen 83

7. Case: De Tuinen van Nijverdal 85
7.1. Ontwerp 85
7.2. Watersysteem 89
7.3. Vochtbehoefte 91
7.4. Bodemopbouw 7.5. Hoeveelheid beschibaar effectief water 97

Bronvermelding

Bijlagen
Bijlage I Beoordelingscriteria materialen
Bijlage II Interview dhr. Steven Jansen, Landschapsarchitect en adviseur, Movares
Bijlage III Interview dhr. Jan van Merriënboer, Groendocent hogeschool van Hall - Larenstein
Bijlage IV Interview dhr. Henk Vlijm, Marketing Directeur Optigroen
Bijlage V Interview dhr. Wil Tummes, Bomen beheerder, Gemeente Sittard-Geleen.
Bijlage VI Interview dhr. Jitze Kopinga. DLO Onderzoeker Alterra (Wageningen)
Bijlage VII Stralingskaart
Bijlage VIII Dampspannings curve water

Colofon

1.Inleiding

1. Inleiding

Daktuinen bestaan al een lange tijd in ons land. In de loop der jaren is er veel vooruitgang geboekt en zelfs op ultralichte daken kunnen ingenieurs de meest complexe daktuinen ontwikkelen. Echter, er zijn in Nederland ook een aantal grote dakparken gemaakt. Deze parken liggen voornamelijk op grote complexen als stations, tunnels en winkelcentra.

Wij kunnen daktuinen onderscheiden in twee soorten: intensieve en extensieve daktuinen. Extensieve daktuinen zijn daktuinen met veelal sedumvegetatie die weinig eisen van de onderliggende constructie. Intensieve daktuinen zijn daktuinen met meerdere beplantingstypen. De grotere variant wordt ook wel een dakpark genoemd.

De meeste dakparken zijn voorzien van een vlottersysteem of druppelsysteem, maar er zijn ook dakparken met een permanente waterlaag gerealiseerd. Middels capillaire opstuwing dienen de bomen te worden voorzien van vocht. Dit kan leiden tot vernatting en verdroging van bomen op dakparken.

Leeswijzer

In hoofdstuk 2 komt ons onderzoeksplan naar voren. In dit hoofdstuk leggen wij onze werkwijze uit en beschrijven onze doelstelling. In hoofdstuk 3 lichten wij daktuinsystemen toe om inzichtelijk te maken welke materialen, constructies en bevloeiingssystemen er zijn. In hoofdstuk 4 gaan wij in op de groeiplaatsomstandigheden van bomen. Daarnaast komt de capillaire werking in de bodem en verdamping van bomen aan bod. De referentiestudie wordt toegelicht in hoofdstuk 5 waarna onze conclusies en aanbevelingen zijn beschreven in hoofdstuk 6. Onze bevindingen hebben wij verwerkt in een case die wij verkregen hebben van Movares. De aanbevelingen voor deze case zijn beschreven in hoofdstuk 7.

2.Onderzoeksopzet

2. Onderzoeksopzet

Voorafgaand aan de start van ons onderzoek is er een onderzoeksplan opgesteld. Hierin wordt vermeld welke stappen er worden ondernomen voor het beantwoorden van de door ons geformuleerde hoofdvraag. De deelvragen ondersteunen ons bij het achterhalen van de informatie. Om diepgang te waarborgen, dient het onderzoek te worden afgebakend.

2.1. Onderzoeksvraag:

Onze onderzoeksvraag luidt:

''Wat is de optimale groeiplaatsinrichting voor bomen in dakparken met kunstmatige waterstand?''

Met de volgende deelvragen:

1. Welke daktuinsystemen zijn er ontworpen voor dakparken met een permanente waterstand en wateropstuwing?
2. Welke eisen stelt een boom aan groeiplaatsinrichting op dakparken?
3. Wat is het belang van capillaire werking van de bodem/substraat van dakparken
4. Neemt het vochtverbruik van een boom af bij het slinken van de vochtvoorraad op een dakpark?
5. Welke ervaringen heeft men in de praktijk met deze dakparksystemen?
6. Case: Op welke manier wordt zowel verdroging als verzadiging van de groeiplaatsinrichting van bomen op daktuinen tegen gegaan?

2.2. Onderzoeksvorm

Ons onderzoek begint met een literatuurstudie. Deze literatuurstudie levert ons de nodige informatie voor de geschiedenis, opbouw en materialen van daktuinen. Om te kunnen bepalen wat een boom precies nodig heeft is er een literatuurstudie gedaan naar de fysische eigenschappen van bomen zoals verdamping en voeding. Een onderzoek naar de bodemopbouw moet leiden tot informatie over de hoeveelheid capillaire werking, grondfracties en poriën.

Middels een referentieonderzoek willen wij de ervaringen uit de praktijk in ons rapport verwerken en hieruit ons voordeel doen. Deze ervaringen zullen ons helpen met het schrijven van onze conclusies en aanbevelingen.

Om ons conclusies en aanbevelingen in praktijk te brengen, hebben wij van Movares een ontwerp verkregen. Dit ontwerp is een dakpark op een groot tunneldak. Boven op het tunneldak wordt het park ingericht met bomen en boomvormige heesters. De bomen dienen te worden bevloeid met een permanente waterstand die, na onze berekeningen, kan worden voorzien van een pomp.

2.3. Doelgroep

Dit rapport is geschreven voor personen die interesse hebben in dakparken, capillaire werking en groeiplaatsomstandigheden van bomen. Ontwerpers, werkvoorbereiders, en studenten van hogeschool Van Hall - Larenstein kunnen dit rapport gebruiken als richtlijnenpakket voor het ontwerpen of construeren van dakparken met een kunstmatige waterlaag.

2.4. Resultaatomschrijving/doelstelling

Wij hopen dat het onderzoek een leidraad zal zijn voor de volgende projecten van Movares waar daktuinen in zijn opgenomen. In dit onderzoek zullen aanbevelingen naar voren komen die inzetbaar zijn bij het plaatsen van bomen op dakparken met een permanente waterstand. Dit onderzoek wordt ingeleverd in rapportvorm. Daarnaast zal er een openbare presentatie plaatsvinden.

2.5. Afbakening

Om ons onderzoek af te bakenen hebben wij gekozen om ons te richten op de groeiplaatsomstandigheden van bomen. Hierin wordt de bodem, capillaire werking, waterverbruik (verdamping), voeding en doorwortelbare ruimte meegenomen. De referentiegebieden die wij gaan bezoeken willen wij zoveel mogelijk spiegelen aan onze casus. Op deze manier kunnen wij representatieve conclusies trekken en zal dit een meerwaarde zijn voor onze aanbevelingen.

Randvoorwaarden die wij stellen ten aanzien van onze referentiegebieden zijn:

- De referentiegebieden liggen in Nederland. De verwachting is dat bij buitenlandse projecten de informatie moeilijker boven tafel is te krijgen, gezien de korte tijdsduur van ons onderzoek. Daarnaast spelen er andere klimatologische factoren een rol die in Nederland niet van toepassing zijn;
- Referentiegebieden dienen van grote omvang te zijn;
- Referentiegebieden zijn ingericht met (grote) bomen;
- Bomen worden bevloeid bij voorkeur via capillaire opstuwing middels een permanente waterstand of ander bevloeiingssysteem.

3. Daktuinsystemen

3. Daktuinsystemen

Groendaken worden steeds meer toegepast. In dit hoofdstuk wordt de motivering voor het mogelijk toepassen van groendaken beschreven. Vervolgens worden verschillende groendaken en bijbehorende elementen beschreven.

3.1 Redenering toe te passen groendaken

Het toepassen van een groendak kan verschillende redenen hebben. Groendakspecialisten hebben het bij motivering van groendaken over “de drie E’s”: Ecologie, Esthethica en Economie.

3.1.1. Ecologie

Onder ecologie kan kortweg worden verstaan: *“de leefomgeving van mens, dier en plant”. Kersen, A.J. 2010, pag 6*. Groendaken hebben een gunstige invloed op de ecologie; de duurzaamheid van de gebouwen verbetert. De volgende punten zijn mogelijke motieven voor het kiezen van een daktuin:

- Buffering en vertraagde afvoer water

Een groendak houdt gedurende een bepaalde tijd vocht vast; de keus van het materiaal en de laagdikten ervan bepalen de weerstand en de inwendige stromingslengte. Zodra een bepaald niveau is bereikt, zal het water worden afgevoerd. Het vastgehouden water wordt door beplanting opgenomen en uiteindelijk voor een deel verdampt(evapotranspiratie).

- Afvangen fijnstof

Uit verschillende studies blijkt dat groendaken een positief effect op het afvangen van fijnstof uit de lucht hebben.

- Vermindering CO_2

Planten zetten CO_2(kooldioxide) om naar O_2(zuurstof).

- Vergroten biodiversiteit bebouwde omgeving

Verschillende insecten en gevogelte voelen zich meer tot een groendak aangetrokken dan een grinddak of een bitumen dak. Door te kiezen voor een gevarieerde beplanting wordt de aantrekking tot de bovengenoemde diersoorten versterkt.

- Warmteregulerende werking

Een groendak beperkt de opwarming van de omgeving

- Vermindering geluidsoverlast

Absorbtie van geluid door beplanting zorgt zowel in het gebouw als buiten het gebouw voor een rustige omgeving.

3.1.2. Esthetica

Met esthetica wordt de schoonheid van een plek bedoeld. De volgende punten zijn mogelijke motieven voor het kiezen van een daktuin:

- Verbergen

Door middel van beplanting op parkeerdaken kan men een grijze massa veranderen in een aantrekkelijk uitziend parkeerdak.

- Uitstraling

Voor bedrijven is de uitstraling van het bedrijfspand van groot belang. Tegenwoordig willen bedrijven een groene duurzame uitstraling hebben. Een groendak helpt hierbij.

- Groen stedelijk gebied

Net als bij bedrijfspanden, geldt de uitstraling ook voor steden. Mensen zijn gebaat bij een groene omgeving. De leefbaarheid van de stad verbetert door het toepassen van groen(daken).

3.1.3. Economie

Groendaken bieden ook financiële voordelen:

- Verlengen van de levensduur van dakbedekking.

Doordat de dakbedekking niet meer aan UV-straling en grote temperatuurverschillen wordt blootgesteld, gaat een dakbedekking langer mee dan een “kaal” dak.

- Stijging waarde pand

Een team onderzoekers uit het Verenigd Koninkrijk heeft studie gedaan naar de invloed van een groendak op de waarde van een woning. De waarde van een woning stijgt wanneer een groendak is toegepast. (Bron: http://www.groenvoordaken.be)

3.2. Opbouw groendak

In deze paragraaf behandelen we de opbouw van een groendak. Daktuinen worden al geruime tijd aangelegd. De hangende tuinen van Babylon zijn een voorbeeld van eeuwenoude toepassing. Koning Nebukadnezar II liet in 587 voor Christus deze tuinen aanleggen. Daken werden met lood en/

of bitumen waterdicht gemaakt waarna aarde gestort werd en bomen aangeplant konden worden. Door ondergrondse kanalen, bestaande uit steenfracties, werd de beplanting van water voorzien. Tot het einde van de twintigste eeuw werd gebruik gemaakt van deze klassieke daktuinopbouw (zie figuur 1).

De hedendaagse groendaken zijn onder te verdelen in vegetatiedaken en daktuinen. Het verschil tussen de twee genoemde groendaken zit in de vegetatie. Vegetatiedaken hebben extensieve vegetatie zoals mos-sedum, sedum, sedum-kruiden en gras-kruiden. Deze vragen om weinig onderhoud. Daktuinen hebben intensieve beplanting zoals vaste planten, heesters en bomen. Deze vragen om meer onderhoud en een dikkere profielopbouw.(Zie figuur 2)

Omdat het principe van de profielopbouw voor beide groendaken gelijk is, behandelen we deze niet separaat. Een groendakconstructie bestaat uit de volgende constructieonderdelen:

- draagconstructie;
- bouwfysische constructie;
- drainagelaag;
- filterlaag;
- substraatlaag;
- vegetatie;
- bewateringsysteem(optioneel).

Draagconstructie

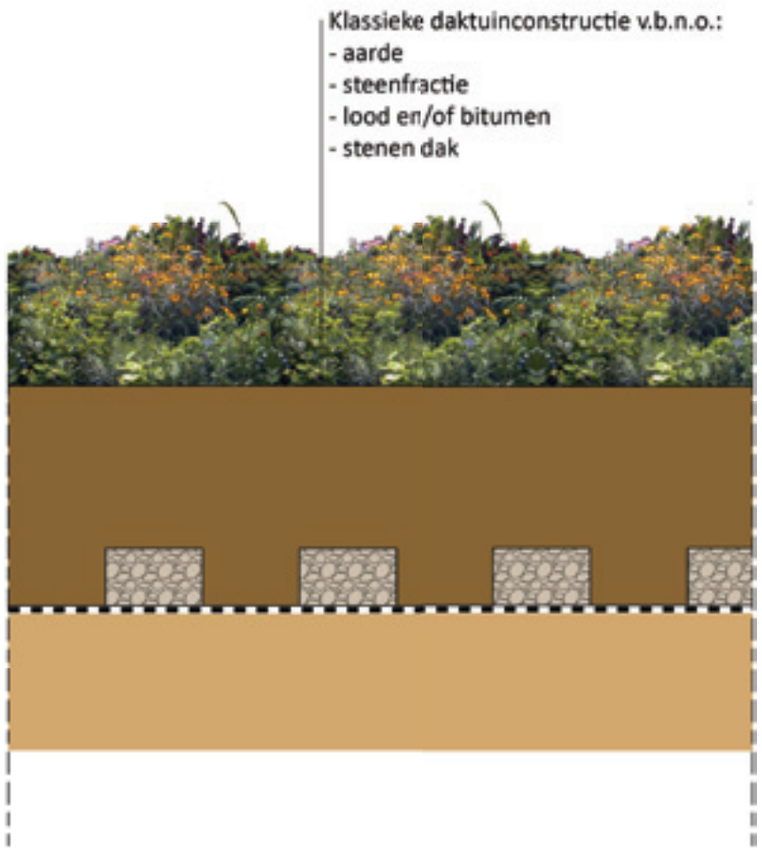
Een draagconstructie bestaat uit een constructie van een of meerdere elementen die capabel genoeg moet zijn om de overige dakconstructie te dragen. De draagconstructie van een dak kan op verschillende manieren worden uitgevoerd. Afhankelijk van de grootte van het dak, maximale belasting en financiële haalbaarheid kiest men voor een betonnen, houten, stalen of hybride draagconstructie.

Betonnen draagconstructie

Draagconstructies van platte daken in de utiliteitsbouw worden veelal uitgevoerd middels betonnen prefab elementen (vaak in de vorm van kanaalplaatvloeren). Door het plaatsen van betonnen prefab elementen wint men tijd doordat een kanaalplaatvloer meteen belast kan worden. Dit type draagconstructie is zowel voor vegetatiedaken als daktuinen geschikt.

Houten draagconstructie

Een houten draagconstructie bestaat uit een balklaag en het dakbeschot. Bij kleine platte daken(huizen, garages en erkers) is dit een veel voorkomende draagconstructie. Hout is zeer bewerkbaar waardoor alles op maat gemaakt kan worden. Hout is gevoelig voor vocht; een waterdichte dakbedekking is van groot belang.



Figuur 1 klassieke daktuinopbouw

Stalen draagconstructie

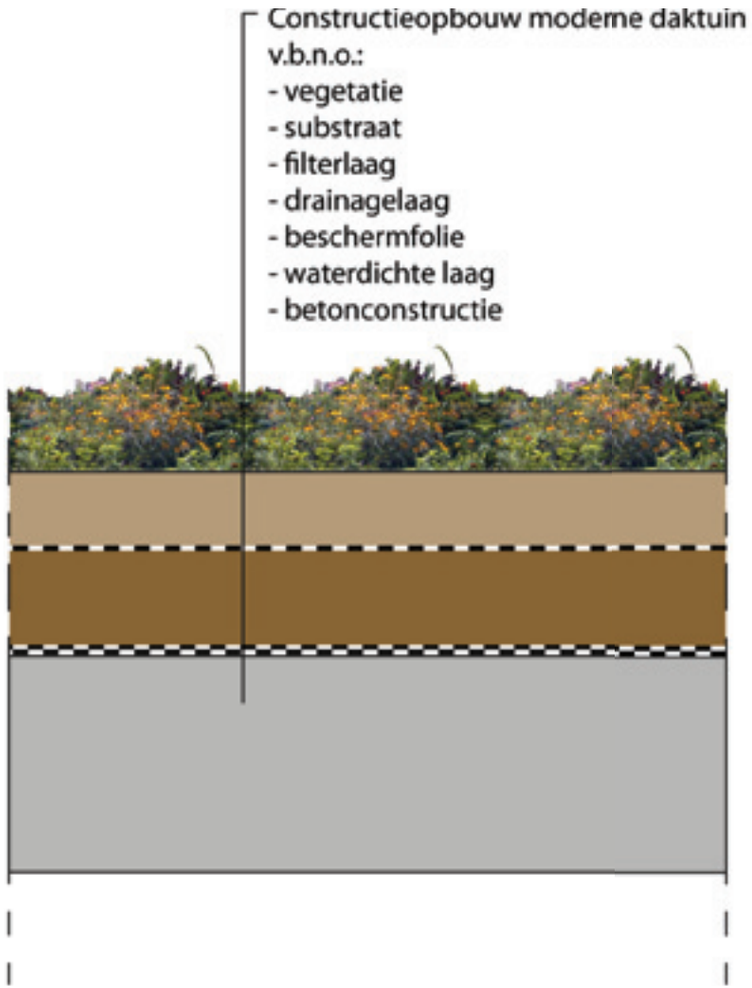
Een stalen draagconstructie bestaat uit stalen liggers met aluminium dakplaten. Stalen liggers hebben een grotere draagkracht dan houten liggers. Hierdoor kan de constructie minder dik worden uitgevoerd. De aluminium dakplaten zijn lichter dan hout en daardoor sneller verwerkbaar. Dit type draagconstructie is geschikt voor vegetatiedaken.

Hybride draagconstructie (hout&staal)

Als laatste is er een hybride draagconstructie. Deze draagconstructie bestaat uit stalen liggers, houten dwarsliggers en een houten dakbeschot. De beperkte constructiedikte maar de hoge belastbaarheid is het grote voordeel van deze draagconstructie. Dit type draagconstructie is geschikt voor vegetatiedaken.

Bouwfysische constructie

Bouwfysica is de fysica van de gebouwde omgeving. Deze betreft de fysische aspecten van de gebouwde ruimte en van gebouwconstructies en installaties. De fysische aspecten zijn licht, warmte, lucht, vocht en geluid. Onder de bouwfysische constructie verstaan we constructie die zorgen voor zowel een gewenst fysisch binnenmilieu als het leveren



Figuur 2 Moderne daktuinopbouw

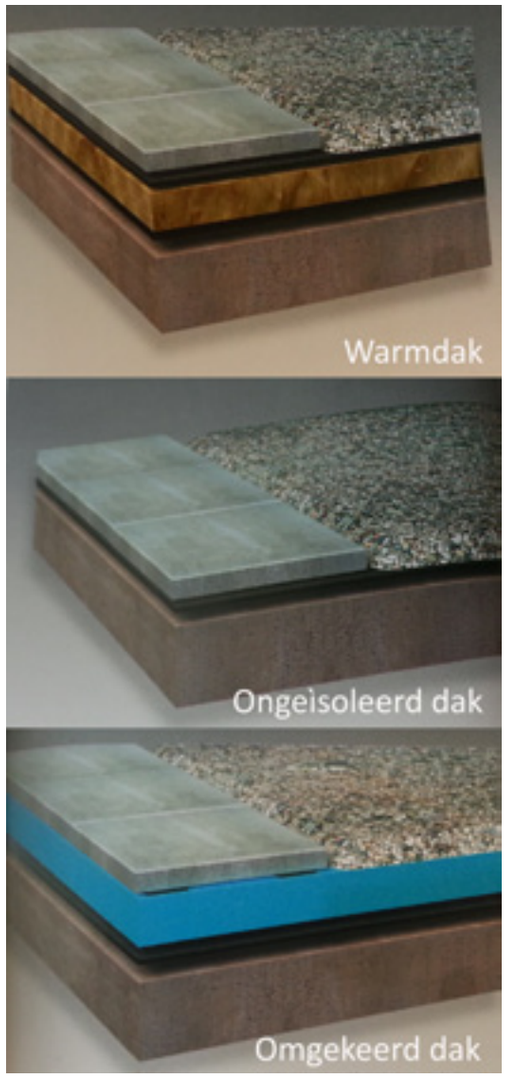
van een fysische prestatie met betrekking tot de instandhouding van de constructie. *(Bron: http://nl.wikipedia.org/wiki/Bouwfysica).* De bouwfysische constructie bestaat uit een dampremmende laag, thermische isolatie en dakbedekking.

Dampremmende laag

Dit is een laag, vaak in de vorm van een folie, die als doel heeft het transport van waterdamp naar de bovenliggende thermische isolatie en de dakbedekking te beperken. Deze laag is noodzakelijk bij geïsoleerde daken.

Thermische isolatie

Thermische isolatie is een element dat een aanzienlijke bijdrage levert aan de warmteweerstand van een dak. De plaats van de thermische isolatie ten opzichte van de dakbedekking bepaalt het type dak (zie figuur 3) Het wordt op daken vaak in de vorm van polystyreenplaten (EPS of XPS) toegepast. Polystyreenplaten worden vanwege het lage soortelijke gewicht bij daken gebruikt met een beperkte draagkracht waar (grote) hoogten overbrugd moeten worden. Bij gebouwen met verblijfsfuncties is thermische isolatie vereist. Groendaken op parkeerdekken en tunnels hoeven niet geïsoleerd te worden.



Figuur 3 Dakconstructie

Bron: Handboek Groene Daken

Dakbedekking

Een laag bitumen zorgt voor een waterdichte constructie. Bitumen ligt (in meerdere lagen) op de thermische isolatie.

Beschermlaag

Op de bitumen dakbedekking komt een beschermlaag. De beschermlaag bestaat uit een geotextieldoek van minimaal 300 g/m^2. Dit doek beschermt de dakbedekking.

Drainagelaag

De drainerende laag op een groendak voert overtollig water af naar de afvoeren van het dak. Een drainagelaag kan verschillende functies hebben:

- Afvoer van overtollig water;
- Waterbuffering en/of opstuwing van water;
- Door het relatief lage soortelijk gewicht is ophoging door middel van een drainagelaag mogelijk.

Bij vegetatiedaken past men drainagematten toe. Deze hebben, vergeleken met daktuinen, een beperkte dikte (20-60 mm) omdat de vochtbehoefte van de vegetatie op deze daken minder hoog ligt.

Bij daktuinen kan de vraag naar een grotere waterbuffering en/of opstuwing groter zijn. De volgende materialen worden veelal toegepast bij daktuinen:

Lavastenen

Lavastenen hebben een waterbergend vermogen van 48% (15% meer dan grind). Ze zijn in verschillende fracties leverbaar en zijn leverbaar als licht- of zwaargewicht. De meest gangbare fractie is 16/32. Het soortelijk gewicht van lavagesteente bedraagt 1100kg/m^3 (Zie figuur 4)

Kleikorrels

Naast een drainagelaag bestaande uit lavastenen is het mogelijk te kiezen voor kleikorrels. Kleikorrels zijn isolerend, rotvrij, duurzaam en onbrandbaar. Er zijn verschillende varianten van de kleikorrels in omloop. Zo zijn er ronde korrels welke ideaal zijn voor drainagelagen.

Naast de ronde korrels zijn er gebroken korrels. Deze worden vaak gebruikt in grondsubstraten voor daktuinen. Door hun gebroken textuur kunnen ze snel veel water opnemen. Het soortelijk gewicht van kleikorrels bedraagt 1250 kg/m^3. Een laag kleikorrels van 180 mm kan per m^2 55,5 liter water opnemen.







Figuur 4 v.b.n.b. steenwol, filterlaag en lavastenen
Bron: Joostdevree.nl

Steenwol

Een derde mogelijke variant is het toepassen van steenwol. Steenwol heeft een laag soortelijk gewicht (120kg/m^3) maar een hoge waterbergingscapaciteit; 40 liter per m^2 bij een dikte van 50 mm (Zie figuur 4).

Filterlaag

Bovenop de drainagelaag komt een filtervlies. Deze voorkomt het dichtslibben van de drainagelaag door fijne deeltjes en biedt een hoge waterdoorlatendheid. Er zijn filterlagen in verschillende afmetingen te krijgen. Een gangbaar type is een filtervlies van 105 gr/m^2. (Zie figuur 4).

Substraatlaag

Boven op de filterlaag komt een laag substraat te liggen. Beplanting heeft substraat nodig als groeimedium. Het toe te passen substraat hangt van verschillende factoren af. Het type vegetatie, waterbergingscapaciteit, maximale belasting en de financiële begroting kunnen bepalend zijn. Bij vegetatiedaken is een minimum van 80 mm substraat nodig bij een plat dak. Bij hellende daken is de substraatdikte minimaal 150 mm.

Er zijn verschillende soorten materialen geschikt als substraatlaag:

- Substraatplaten

Substraatplaten zijn geprefabriceerde platen van gemodificeerd kunststof schuim en/of steenwol. De kwaliteit van het materiaal ten aanzien van brandwerendheid, windweerstand en levensduur moet hoog liggen. Het Bouwbesluit stelt eisen ten aanzien van de brandwerendheid en windvastheid. Aan deze eisen moet voldaan worden.

- Minerale korrels

Lava, geëxpandeerde kleikorrels, gemodificeerd kunststof in combinatie met een deel zand/ klei is een veelvoorkomend substraat. De verhouding van de componenten van dit substraat kunnen aan het type beplanting worden aangepast.

- Verbeterde grond

Hierbij worden toeslagstoffen als lava, geëxpandeerde kleikorrels of gemodificeerd kunststof schuim aan de bouwvoor toegevoegd.

	Klassieke daktuinopbouw	Moderne daktuinopbouw
Draagconstructie	Stenen verdiepingsvloer	kanaalplaatvloeren
		in het werk gestort gewapend beton
Dampremmende laag	-	EPDM folie
Thermische isolatie	-	Polystyreen schuim(PS)
		geëxtrudeerd polystyreen schuim (XPS)
Waterdichte laag	vloeibaar aangebrachte bitumen	APP bitumen
	Lood	SBS bitumen
		POCB dakbanen
		ECB dakbanen
		EPDM dakbanen
		TPO dakbanen
		vloeibaar aangebrachte bitumenlatex
		gietasfalt
Beschermlaag	-	geotextieldoek (300 gr/m2)
Drainerende laag	steenfracties	steenwol platen
		lavastenen
		geëxpandeerde kleikorrels
Filterende laag	-	Filtervlies(105 gr/m2)
Substraatlaag	grond	Substraatplaten
		Minerale korrels(lava, klei)
		Verbeterde grond
		Geprefabriceerde matten (extensieve daken)

Tabel 1 Vegelijkingstabel materiaal gebruik
tussen klassieke daktuinen en moderne daktuinen

- Geprefabriceerde matten

Dit is alleen van toepassing bij extensieve daken; dus niet van toepassing bij onze casus. Deze matten bevatten een beschermlaag, drainagelaag, substraatlaag en soms zelfs vegetatie. Het gewicht van deze matten is licht. De levensduur is meestal beperkt door de beperkte hoeveelheid substraat.

Deze tabel laat zien hoe daktuinsystemen de afgelopen jaren zich hebben ontwikkeld, waarin het gebruik van nieuwe en lichtere materialen is toegenomen (Zie tabel 1).

Waterbergende/drainerende laag									
	Waterbergend vermogen		drainerend vermogen	belasting		vormvastheid bij verzadigde toestand	gebruik bij daken met afschot	prijs/m³*	
	Waterbergend vermogen (L/m3)	beoordeling	beoordeling	soortelijk gewicht(kg/m3)	beoordeling	beoordeling	beoordeling	prijs/m3(excl. BTW.)*	beoordeling
Lavastenen	480	+	+	1100	-	++	+	€ 51,35	+-
Kleikorrels	308	+-	+	1250	-	-	+	€ 102,70	--
Steenwol	800	++	-	120	++	--	+	€ 92,40	-
Drainagemat	12	--	+	1,73	++	+-	-	€ 17,75	++
humeuze grond	190	-	-	1800	--	+	-	€ 18,00	++

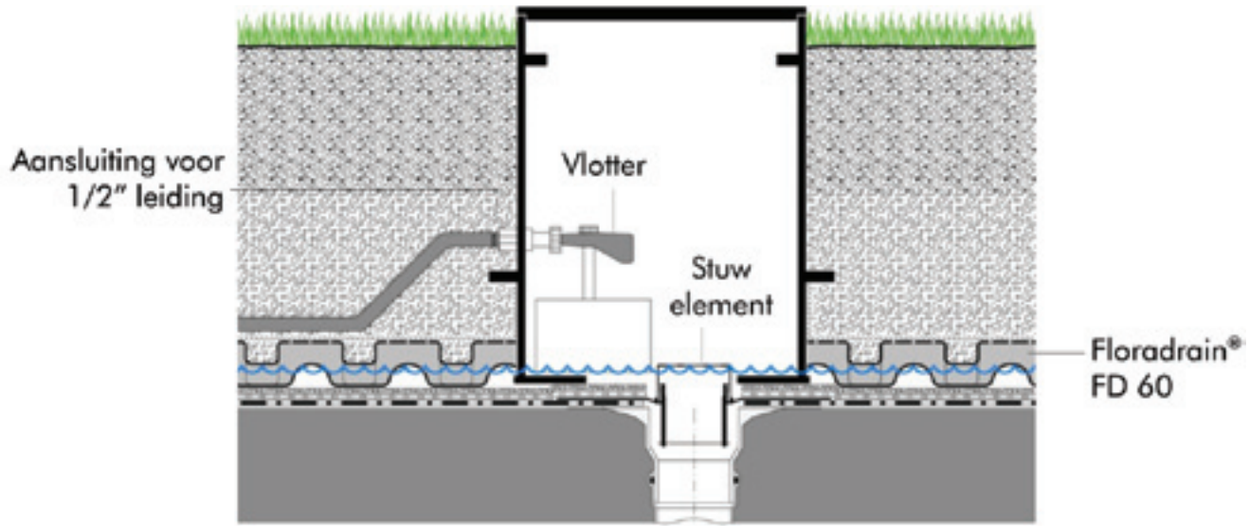
Tabel 2 Vergelijkingsmatrix inclusief beoordeling

Naast de vergelijking tussen de materialen van de klassieke en moderne daktuinopbouw, hebben wij een aantal materiaalstudies gedaan. Deze materialen worden gebruikt bij de moderne daktuinopbouw. In deze matrix hebben wij de materialen getoetst aan de hand van een aantal aspecten zoals waterbergend vermogen, drainerend vermogen, soortelijk gewicht, vormvastheid en prijs. Deze aspecten zijn van het belang voor het realiseren van een dakpark met een permamente waterlaag (Zie tabel 2). In bijlage 1 zijn de beoordelingscriteria aangegeven.

Vegetatie

De vegetatie op vegetatiedaken bestaat uit mos-sedum, sedum, sedum-kruiden en gras-kruiden. Deze soorten zijn onderhoudsarm en hebben vanwege de beperkte wortelgroei en vochtopname een beperkte profielopbouw nodig.

De vegetatie bij daktuinen bestaat uit vaste planten, (boomvormige) heesters en zelfs bomen. Deze vegetatie heeft een dikkere laag substraat nodig voor de wortelgroei en de vochtopname. Bomen hebben minimaal een meter substraat nodig om voldoende te kunnen verankeren. (Bron: Handboek Groene daken)



Figuur 6 Vlottersysteem met buizen richting beplanting

Bron: Zinco

3.3. Bevloeiingssystemen (optioneel)

Om de beplanting van voldoende vocht te kunnen voorzien, kunnen bewateringsystemen worden aangelegd. Er zijn verschillende methoden om te bevloeien. Hieronder zijn een aantal omschreven:

Vlottersysteem

Middels een vlottersysteem bestaat de mogelijkheid de watertoevoer te verzekeren via een ondergrondse waterstand met vlotter.

Volgens een leverancier : '*Het niveau en de uitvoering van de waterspiegel worden bekomen door in de draineerlaag een overloop met een constant niveau te plaatsen. De overloophoogte is minimaal 5 cm. De overloop, ook wel trop-plein genoemd, bevindt zich in een inspectie- of controleput waarin een tappunt is geplaatst die voor de nodige watertoevoer zorgt. De vlotter regelt het openen en sluiten van de watertoevoer (tappunt). De luchtlaag, dit zijn de holle ruimtes tussen de korrels, strekt zich boven het waterniveau uit, voorkomt de verzuring van het water en voorziet in de bijkomende beluchting van de wortels, wat de plantengroei positief beïnvloedt*' (bron: www.argex.eu)(Zie figuur 6).



Figuur 7 Druppelsysteem

Bron: Gardena

Druppelbevloeiing geschiedt middels leidingen welke voorzien zijn van druppeldoppen. Per uur wordt een bepaald aantal liter water afgegeven. Door in het waterreservoir meststoffen met water te mengen, kan men via druppelbevloeiing ook de beplanting van meststoffen voorzien (Zie figuur 7).

Een vlottersysteem is interessant wanneer men grote hoeveelheden water wil oppompen op de daktuin. Een druppelsysteem wordt gericht gelegd bij bomen.

Met absorberend materiaal (lava, kleikorrels, steenwol of drainagematten) kan men extra water vasthouden in de onderste lagen waarna met behulp van wateropstuwing het water in de bovenste lagen wordt gestuwd.

4. Groeiplaatsomstandigheden

4. Groeiplaatsomstandigheden

In dit hoofdstuk gaan wij in op de optimale groeiplaatsomstandigheden voor bomen. Om te achterhalen wat de optimale groeiplaatsomstandigheden zijn voor bomen dienen wij de volgende aspecten te onderzoeken:

- Bodembestanddelen
- Voeding
- Elementenvoorziening
- Doorwortelbare ruimte
- Vocht
- Capillaire werking
- Verdamping
- Potentiele verdamping
- Actuele verdamping

4.1. Bodembestanddelen

De bodem bestaat voornamelijk uit vaste, vloeibare en gasvormige bestanddelen. Vaste bestanddelen kunnen weer worden gedefinieerd in twee soorten: organisch materiaal en minerale delen. Organisch materiaal bestaat uit niet afgebroken en/ of dode planten en dieren. De vloeibare en gasvormige bestandsdelen bevinden zich in de poriën en holtes (zie ook paragraaf 4.1.1. Poriën). Een grond met veel organisch materiaal verhoogt daarbij ook het vochthoudend vermogen.

In het onderzoek van Palmer en Slingerland wordt vermeldt*: ''Een groeiplaats met 3 tot 8% organisch materiaal voorziet de boom van voedingselementen en heeft een goed vochthoudend vermogen'' (Palmer. C en Slingerland G., 2012, pag 14).*

De afbraak van organische stof kan op twee manieren plaatsvinden:

Bij humificiatie wordt het organische stof zo ver afgebroken dat de plantaardige en dierlijke resten niet meer herkenbaar zijn. Dit wordt ook humus genoemd. Humus is een tussenproduct van het afbreken van organische stof. Humus heeft een aantal belangrijke eigenschappen:

- Verbetert het vochthoudend vermogen van de grond;
- Verbetert de structuur van de grond;
- Humus heeft het vermogen om voedingselementen vasthouden en weer af te geven: dit wordt het adsortiecomplex genoemd;
- Bij het verder afbreken van humus komen meer voedingsstoffen vrij.

Uiteindelijk wordt het humus afgebroken tot koolzuurgas, water, nitraten en andere zouten. Dit wordt ook wel mineralisatie genoemd. Bij langzame mineralisatie wordt dit fenomeen ook wel stabiele humus genoemd.

4.1.1. Poriën

Behalve uit vaste bestanddelen bestaat de bodem uit poriën en holtes. De poriën zijn verdeeld aan de hand van de grootte. De benaming voor de fractiegrootte wordt gedaan in µm (of micrometer). Een micrometer staat voor 10^{-6}, oftewel 0,000 001 meter

- Macroporiën hebben een doorsnede van meer dan 100 µm. Macroporiën zorgen voor doorluchting van de bodem. Door de zwaartekracht zakt het water weg in de poriën. Als porien groter zijn dan 200 µm zijn ze doorwortelbaar;
- Mesoporiën hebben een doorsnede van 30-100 µm. Deze zijn, net als de macroporiën,

Grondfracties: in µm	Naam (Volgens NEN 5104)
0-2	Lutum
2-63	Silt
63-105	Silt
105-150	Uiterst fijn zand
150-210	Zeer fijn zand
210-300	Matig grof zand
300-420	zeer grof zand
420-2000	Uiterst grof zand
2000-63.000	grind
>63.000	stenen

Tabel 3 Grondfracties volgens de NEN 5104

Stadsbomen Vademecum 2a

Percentage lutumdeeltjes	**Benaming**
0-5	Kleiarm zand
5-8	kleiig zand
8-12	zeer lichte zavel
12-17,5	matig lichte zavel
17,5-25	zware zavel
25-35	lichte klei
35-50	zware klei
>50	zeer zware klei

Tabel 4 Percentage lutumdeeltjes

Bron: Stadsbomen Vademecum 2a

Percentage leemdeeltjes	**Benaming**
0-10	Leem arm zand
10-17,5	Leem arm zand
17,5 -32,5	Zwak lemig zand
32,5-50	sterk lemig zand
50-85	zandige leem
85-100	siltig leem

Tabel 5 Percentage leemdeeltjes

Bron: Stadsbomen Vademecum 2a

gevuld met lucht;

- Microporien zijn kleiner en hebben ongeveer een grootte van 30 µm of kleiner (Zie paragraaf 4.2 voor uitwerking bodemopbouw).

In tabel 1 is weergegeven welke korrelgrootte wordt geclassificeerd bij een bepaalde grondsoort volgens de NEN 5104 normering (Zie tabel 3).

4.1.2. Samenstelling

De fracties of korrelgrootte worden bepaald door afzettingen. De afzettingen van grond zijn veroorzaakt door wind of water. Bij waterafzettingen is er sprake van lutum. Afhankelijk van het percentage aan lutum in de bodem kan er gesproken worden over zand, zavel of klei. (Zie tabel 4)

Windafzettingen worden ingedeeld als leemfracties. Afhankelijk van het percentage aan leem in de bodem wordt er gesproken over zand, lemig zand, en leem. (Zie tabel 5)

4.1.2 Voedingselementen

Voedingselementen zijn voor bomen van groot belang. Ze sporen niet alleen de groei en ontwikkeling van de boom aan maar vervullen ook een aantal functies:

- Ze maken deel uit van het weefsel;
- Ze dienen als katalysator bij scheikundige reacties;
- Ze regelen osmotische processen;
- Ze bufferen en neutraliseren zuren en basen die binnendringen

De voedingselementen zijn in te delen in verschillende categorieën:

Hoofdvoedingselementen of macro-elementen: hieronder vallen stikstof, fosfor, kalium, calcium, magnesium en zwavel.

Sporen- of micro-elementen: deze bestaan uit koper, zink, borium, ijzer, mangaan en molybdeen.

Stiktstof

Bomen hebben behoefte aan verschillende voedingselementen. Stikstof (N) is een belangrijk voedingselement; het bepaalt voor een groot deel de groei van de boom en de ontwikkeling en kleur van het blad (Zie figuur 8).

In Stadsbomen Vademecum 2A staat het volgende vermeld omtrent de gevolgen van gebrek aan stikstof: *“Stikstofgebrek leidt tot verminderde groei, een lichtere bladkleur, kleinere bladeren en een vervroegde bladval”(GJ van Prooijen, 2006, pag 98).*

De boom kan zelf de plaats van stikstof bepalen. Bij gebrek zal herverdeling plaatsvinden; stikstof uit oudere bladeren wordt verplaatst naar jong blad zodat de groei hiervan ongehinderd blijft. Zoals in de tweede alinea van deze subparagraaf staat beschreven, zal het blad kleiner en geelachtig blijven.

Overdosering van stikstof heeft nadelige gevolgen voor de boom. In Stadsbomen Vademecum 2A staat het volgende vermeld: *“Een overmaat aan stikstof veroorzaakt een te uitbundige groei van de boom, wat nadelig kan zijn voor de stevigheid van niet-verhoute delen. Enerzijds kan de boom hierdoor vatbaarder zijn voor bepaalde ziekten en aantastingen. Anderzijds kunnen de eenjarige twijgen doordat ze onvoldoende afgehard zijn, ‘s winters door bevriezing afsterven.*

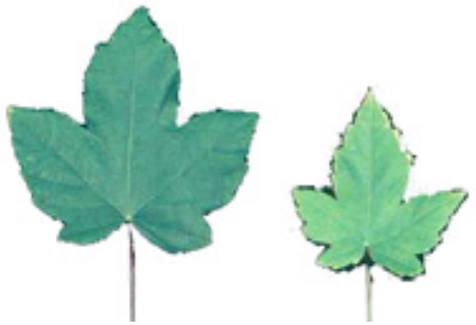
Een overmaat aan stikstof veroorzaakt ook een te ruime verhouding ten opzichte van andere elementen. Dit houdt in dat aan deze elementen ten opzichte van stikstof een relatief tekort ontstaat. Dit is ongunstig voor de groei en de gezondheid van de boom. Zo heeft te veel stikstof ten opzichte van kalium een negatieve invloed op de gevoeligheid voor sommige schimmelziekten”(Bron: GJ van Prooijen, 2006, pag 98).

Het waarnemen van één van de bovengenoemde gevolgen bij gebrek of overdosering aan stikstof zal tijdens de beheerfase plaatsvinden. Bij constatering van één van de bovengenoemde gevolgen dient men de stikstofwaarde te meten en hierop de bemesting aan te passen.

Calcium bevordert de wortelgroei en celstructuur en kalium vermindert de vorst- en droogtegevoeligheid en blad/nerfontwikkeling. (Zie figuur 9)

De micro-elementen zijn katalysatoren. Dit zijn geen bouwstoffen maar zetten stoffen om in de geschikte enzymen.

Normaal Stikstoftekort



Figuur 8 Stikstoftekort

Bron: Wageningen Universiteit



Figuur 9 Kaliumtekort

Bron: Wageningen Universiteit

Het injecteren van voedingselementen kan middels het toevoegen van voedingselementen aan bevloeiingssystemen zoals beschreven staat in paragraaf 3.3.

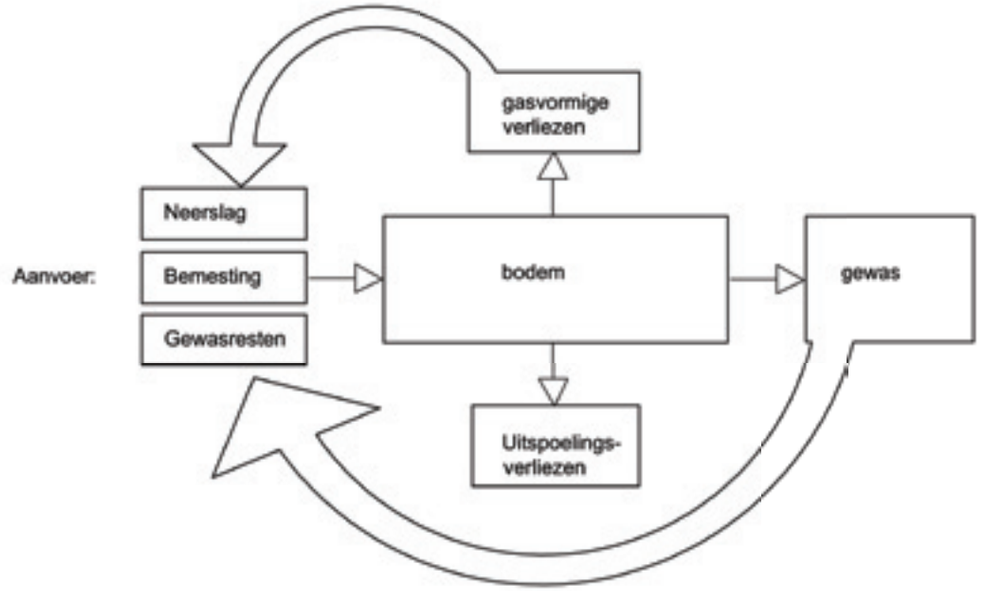
Zuurstof

Bomen halen via hun wortelstelsel lucht uit de bodem om te kunnen groeien en voor de opname van voedingselementen. Een gebrek aan zuurstof heeft verschillende gevolgen. In Stadsbomen Vademecum 2A staan deze beschreven: *"Bij een dalende beschikbaarheid van zuurstof neemt allereerst de wortelgroei af. Bij een verdere afname van het zuurstofgehalte neemt ook de actieve opname van voedingselementen (stikstof, kalium, fosfaat, calcium en magnesium) af. In een zuurstofloze omgeving stopt deze actieve opname helemaal. Daarnaast kunnen (giftige stoffen) die de boom gewoonlijk actief buitensluit, zoals natrium en chloor, minder goed buitengesloten worden"(Bron: GJ van Prooijen, 2006)*.

Bomen kunnen na twee dagen met een zuurstoftekort sterven. Hierop zijn een aantal uitzonderingen; wilgen, elzen en populieren kunnen langere tijd zonder zuurstof. Het zuurstofpercentage van een bodem dient, voor een goede ontwikkeling van de boom, minimaal 16% te bedragen. Hieronder kunnen groeistoornissen plaatsvinden. Bij minder dan 10% kan schade aan de actieve wortels plaatsvinden.

Tijdens de uitwerking van het ontwerp is het raadzaam de capillaire werking van de toe te passen bodem/het substraat te controleren en het substraat af te stemmen op het groensortiment. Bij een grote capillaire werking van een bodem/substraat wordt vocht ver omhoog gezogen. Hierdoor kan de grond waarin het wortelstelsel staat, verzadigd raken waardoor een zuurstoftekort ontstaat.

Ook kan tijdens de aanleg door extreme verdichting (bijv. inzet zwaar materieel) een zuurstoftekort optreden. Een mogelijke oplossing is het toepassen van een beluchtingvoorziening. Dit is vaak een geperforeerde buis/slang welke het wortelstelsel van de juiste hoeveelheid beluchting voorziet.



Figuur 10 Aan- en afvoer en cirkel meststoffen

Bron: Minerale meststoffen federatie

Bij een natuurlijke grondslag kan er worden gemeten naar de hoeveelheid voedingselementen. Bij de aanleg van dakparken moet er rekening worden gehouden met de voedingsstoffen in de aan te brengen grond of substraat om ziektes en mutaties te voorkomen. Zuurstof wordt alleen een probleem bij een hoge verdichtingsgraad.

4.1.3. Elementenvoorziening

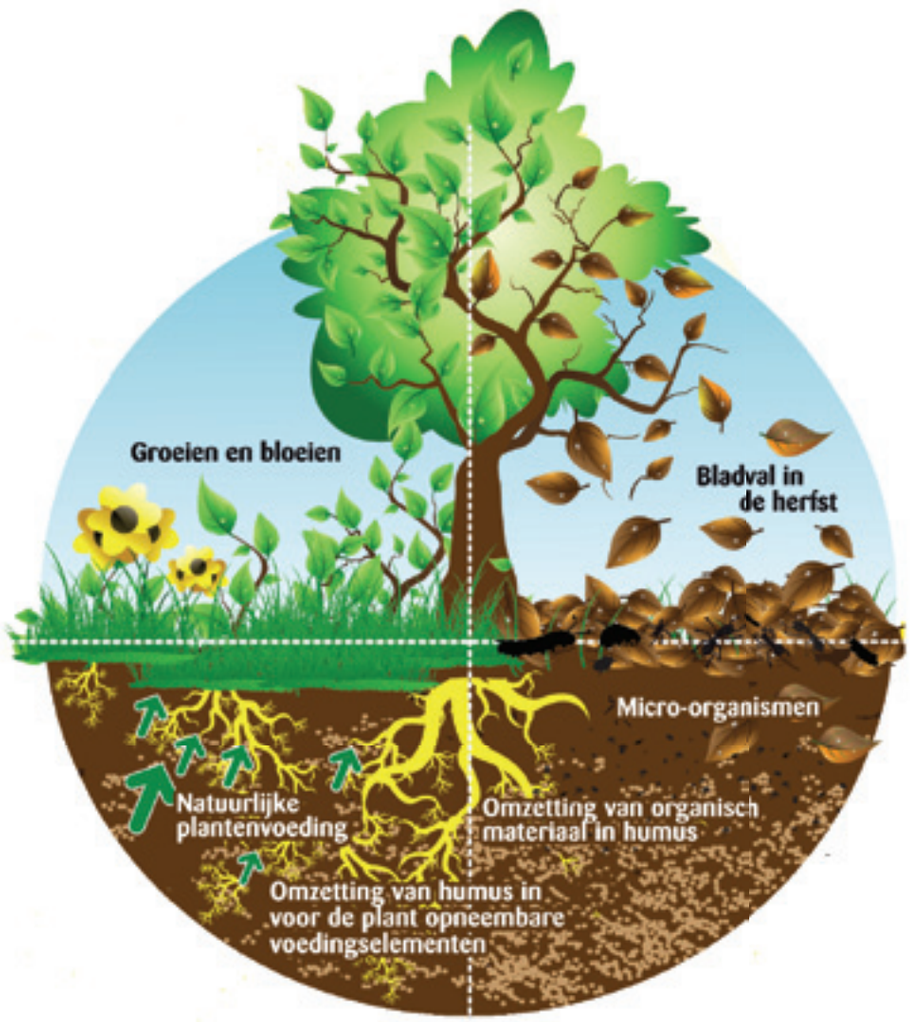
Bij een tekort aan voedingselementen, vermeld in paragraaf 4.1.1, kan er mest worden toegevoegd. Bij een bodem- en grondonderzoek kunnen de tekorten worden getraceerd en kunnen er maatregelen worden opgesteld om de tekorten te verhelpen. (Zie figuur 10)

Meststoffen kunnen worden onderverdeeld in twee soorten:

Anorganische meststoffen

Dit zijn meststoffen die worden gebruikt in de akker- en tuinbouw. Voorbeelden hiervan zijn:

- Kalkammonsalpeter(KAS) voor N;



Figuur 11 gedetaileerde voedingscirkel voor aan- en afvoer van voedingselementen
Bron: Ecostyle

- Superfosfaat voor P;
- Patentkali voor K;
- Kieresiet voor Mg.
  (bron: Stadsbomen Vademecum 2a)

Organische meststoffen:

De afgelopen jaren is er veel gebruik gemaakt van organische meststoffen. Deze meststoffen hebben een hoog gehalte aan organische stof. De samenstelling kan worden bepaald om de tekorten in de bodem te laten verdwijnen. Eigenlijk kunnen organische meststoffen worden gezien als een bodemverbetering.

Daarnaast kan bladval zorgen voor een extra stimulans in het verhogen van voedingselementen. Het omzetten van bladval (organisch materiaal) naar humus geeft een extra toevoeging aan de aanwezige basisvoedingselementen. Echter kan bladval niet het tekort wegnemen (Zie figuur 11).

De hoeveelheid meststoffen kan het tekort aan basis voedingselementen weer aanvullen. Op een daktuin is er een beperkte grondopbouw. Door de opname van bomen en weinig aanvoer van nieuwe voedingselementen kan het leiden tot ‘verschraling’ van de grond. Bij het opbrengen van de grond dient de juiste samenstelling te worden gekozen om permanent de juiste voedingselementen te

4.1.4. Doorwortelbare ruimte

De bodem voorziet bomen van voedingsstoffen. Het wortelstelsel van een boom zorgt voor deze opname waardoor een boom kan zich kan handhaven en groeien. De hoeveelheid doorwortelbare ruimte is hiervoor van groot belang. In deze ruimte kan de boom zich wortelen. De mate waarin de bodem buiten de doorwortelbare ruimte verdicht is, bepaalt of de wortelgroei beperkt blijft of niet. Buiten de doorwortelbare ruimte kan een boom, afhankelijk van de mate waarin de bodem verdicht is, niet altijd wortelen.

Over de hoeveelheid doorwortelbare ruimte voor een boom verschillen de meningen. Het is ook afhankelijk van verschillende factoren.

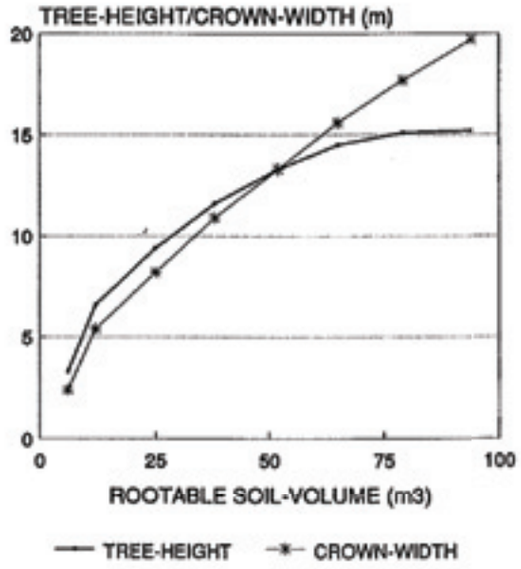
In het Stadsbomen Vademecum 2A gaat men vooral uit van de vochtbehoefte van de boom die in relatie staat tot de doorwortelbare ruimte. Op bladzijde 71 staat een berekening vermeld waaruit blijkt dat een boom van de eerste grootte bij een hangwaterprofiel een minimum doorwortelbare ruimte van 80m^3 nodig heeft. Een boom van dezelfde grootte in een grondwaterprofiel heeft 40 m^3 doorwortelbare ruimte nodig. Doordat 80 en 40 m^3 per boom in stedelijk gebied veel is, zal men vaak op eigen inzicht minder doorwortelbare ruimte per boom toekennen.

In Restricted Soil Volumes van de heer J. Kopinga staat het volgende vermeld:

“Bakker introduced the rule of thumb that a tree standing in a soil with a so-called hanging-water profile(= a soil without influence of ground water) requires approximately about 3/4 m^3 of rootable soil of “reasonable” quality(medium coarse sand with an organic matter content of 3 to 7%) per m^2 of crown projection. In more recent publications, the addition was made that 1/2 m^3 per m^2 crown projection suffices when the soil is of “good” quality (medium coarse sand with an organic matter content of 7 to 8%)” (Kopinga. J. 1991, pag 58).

Hieruit blijkt dat afhankelijk van de grond soms ook kan worden voldaan met minder doorwortelbare ruimte. Wel stelt de heer Bakker dat een boom minimaal 10 m^2 doorwortelbare ruimte nodig heeft om goed te kunnen groeien: *“Growth was always bad when rooting space was less than 10m^2, ”(Kopinga. J. 1991, pag 58).*

Als tweede factor wordt in Restricted Soil Volumes van de heer Kopinga de leeftijd vermeld. Hoe ouder een boom wordt, hoe meer doorwortelbare ruimte deze nodig heeft:



Figuur 12 Verband tussen doorwortelbare ruimte en kroongroei
Bron: Landscape below ground II

"From surveys of roadside plantings of Dutch elm (Ulmus x hollandica), Schoenfeld observed that mature trees grow excellently, under normal climatic conditions, when the amount of root soil is at least 45m^3 or more.

In surveys of roadside plantings of popular (Populus x euramericana 'Heidemij'). Schoenfeld & Van de Burg found that trees about 20 years old grow optimally with a rootable soil volume of at least 55 to 60m^3".(Kopinga. J. 1991, pag 58)

Dit staat ook in relatie tot de verdamping. Grotere bomen verdampen meer doordat het bladoppervlak groter is.

De doorwortelbare ruimte heeft invloed op de afmeting van de kroonprojectie. Uit een artikel van de heer Kopinga in de Journal of Aboriculture 17, uitgave maart, 1991, blijkt dat benodigde doorwortelbare ruimte in relatie staat tot de hoogte en kroonbreedte van de boom.

Dit figuur is van belang voor het bepalen van de juiste hoeveelheid vochtvoorraad in de bodem. Op het moment dat er een groeiplaatsinrichting wordt gekoppeld aan een boom, kan uit dit figuur worden bepaalt welke afmeting de kroon zal krijgen. Bij het aflezen van de kroonafmeting kan worden berekend hoeveel liter water de kroon. Bij zuilvormige en schermvormige bomen zijn de verhouding tussen wortel- en kroonprojectie anders. Dit figuur is gebaseerd op waarnemingen van het onderzoek van de Wageningen Universiteit (zie figuur 12).

De doorwortelbare ruimte is van groot belang voor bomen. Hoe groter de doorwortelbare ruimte, des te groter het wortelstelsel van een boom wordt en dus meer voedingsstoffen opgenomen kunnen worden. De doorwortelbare ruimte bij een grondwaterprofiel bedraagt circa de helft van de benodigde doorwortelbare ruimte bij een hangwaterprofiel. Een boom heeft minimaal 10 m^3 nodig om goed te kunnen groeien.

Ook de grootte/orde van de bomen bepaalt de hoeveelheid benodigde doorwortelbare ruimte. Een boom van de eerste grootte/orde heeft aanzienlijk meer doorwortelbare ruimte nodig dan een boom van de derde grootte/orde.



Figuur 13 Proefopstelling

Bron: BDO

4.2 Capillaire werking

In deze paragraaf behandelen wij de capillaire werking in de bodem. Het is van belang om dit natuurkundig verschijnsel onder de loep te nemen voordat er kan worden bepaald welke profielopbouw(en) geschikt zijn voor bomen in een daktuin met een permanente waterstand Daarbij speelt de hoeveelheid capillaire opstijging, vochthuishouding en opname van water door de boom een grote rol.

4.2.1. Introductie

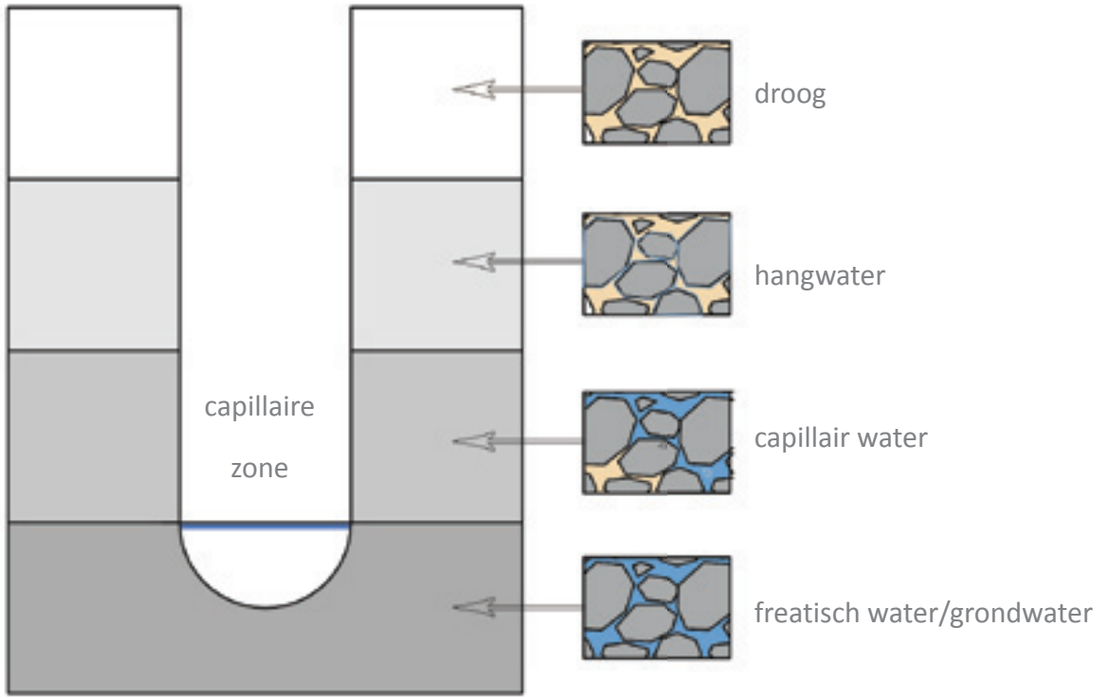
Capillariteit komt van het Engelse woord Capillary. Capillariteit is een natuurkundig verschijnsel waarbij water stijgt via een smalle doorgang. Deze kleine doorgangen of buisjes worden haartjes genoemd: Capilla = haar. Het komt er op neer dat de smalste buisjes het water hoger laten stijgen. Capillariteit komt zowel voor bij mensen als dieren en planten. De kracht waarmee het water omhoog wordt gezogen heet capillaire kracht.

In principe betekent dat de kracht zou moeten afnemen wanneer de buisjes (capilliaren) kleiner zijn. Echter heeft dit effect op het volume waardoor de massa alsnog omhoog getrokken wordt. (Zie figuur 13)

4.2.2. Bodem in combinatie met capillaire werking

Om te begrijpen hoe de capillaire werking in de bodem functioneert dienen wij eerst kennis te nemen van bodemstructuur en het water. In paragraaf 4.1. Bodembestanddelen komt de bodemsamenstelling aan bod. In deze paragraaf komt de waterhuishouding naar voren. Wij kunnen dit onderscheiden in verschillende segmenten;

- Onder de toplaag (bouwvoor) bevindt zich een hangwaterprofiel. Dit is bodemwater, dat zich dicht bij het oppervlak bevindt en infiltreert in de bodem. Dit betreft vaak regenwater dat zich in korte tijd heeft geïnfiltreerd in de bodem of achtergebleven grondwater na daling van de grondwaterspiegel. Hangwater is door de aantrekkingskracht van ongelijke moleculen (adhesie) met kleine poriën verbonden. Hierdoor blijft het water langer in de bodem hangen.



Figuur 14 Doorsnede bodemprofiel

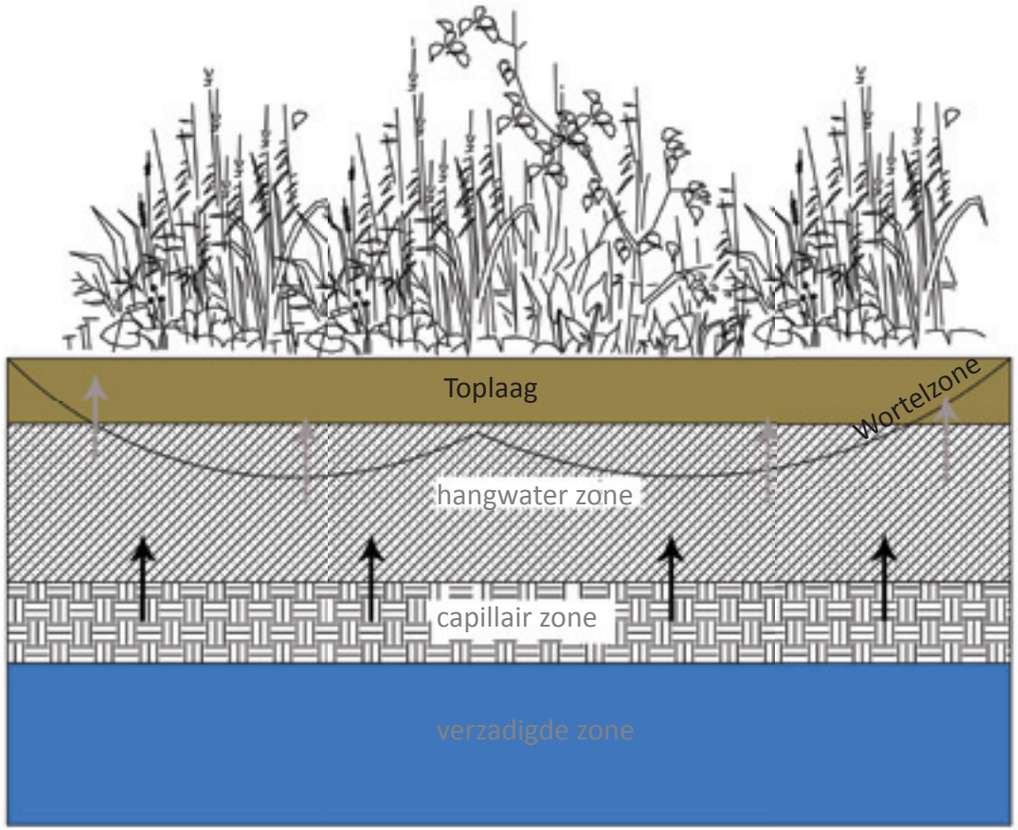
bron: model Zonneveld 1985

In de toplaag bevindt zich een balans tussen zuurstof, vocht(macroporiën) en organisch materiaal. Ideaal voor plantenwortels. In de houtvaten van bomen zitten dezelfde buisjes die het vocht kunnen opstuwen richting de kroon (Zie figuur 14).

- Onder het hangwaterprofiel bevindt zich capillair water.

In de bodem worden juist de capillairen gevormd door een aaneenschakeling van kleine holten en poriën tussen de vaste bodemdeeltjes. Het grondwater kan via de tussenruimtes opstijgen. Een gedeelte van het water zal zich richting het bodemoppervlak bewegen en verdampen. Microporiën, (zie ook paragraaf 4.1), vervoeren het water richting het oppervlak. In de onderste delen van de capillaire zone zijn de poriën geheel met water gevuld. Dit wordt ook wel de vol-capillaire zone genoemd.

Het deel waarbij de poriën deels met water en deels met zuurstof zijn gevuld, wordt de onverzadigde zone genoemd (zie figuur 14).



Figuur 15 capillaire stijging vanuit de capillaire zone naar de wortelzone

- Het onderste bodemdeel met water wordt het freatisch water ofwel grondwater genoemd. In deze zone vindt geen capillaire werking plaats. Dit heeft te maken met de volledig gevulde poriën. Deze zone wordt ook wel de verzadigde zone genoemd. Deze bodemopbouw komt ook voor bij dakparken met een kunstmatige waterstand.

Om dit inzichtelijk te maken en in combinatie te brengen met beplanting, laat figuur 15 zien hoe dit in zijn werk gaat.

De macro- en microporiën zijn van belang voor de opslag en transport van water. De macroporiën zijn doorwortelbaar en houden zuurstof vast terwijl de microporiën het vocht transporteren

4.2.3 Periode van capillariteit

Het is aannemelijk dat de capillaire werking alleen werkt wanneer de poriën, inclusief het water, niet bevroren zijn. Daarnaast stelt het Cultuurtechnisch Vademecum dat capillaire werking alleen voorkomt bij aanvang van de groeiperiode van bomen (april tot oktober).

Grondsoort	gemiddeld		spreiding
	in cm		gemiddeld in cm
Kleiarm zeezand	40		30-50
kleiig zeezand	70		50-100
kleiarm rivierzand	40		30-70
leemarm dekzand	70		50-90
zwak lemig dekzand	110		90-140
sterk lemig dekzand	160		140-250
lichte zavel	130		100-180
zware zavel	90		70-120
lichte klei	70		60-100
matig zware klei	60		50-80
zeer zware klei	40		30-60
oud mosveen	30		10-40
zeggeveen	40		30-60

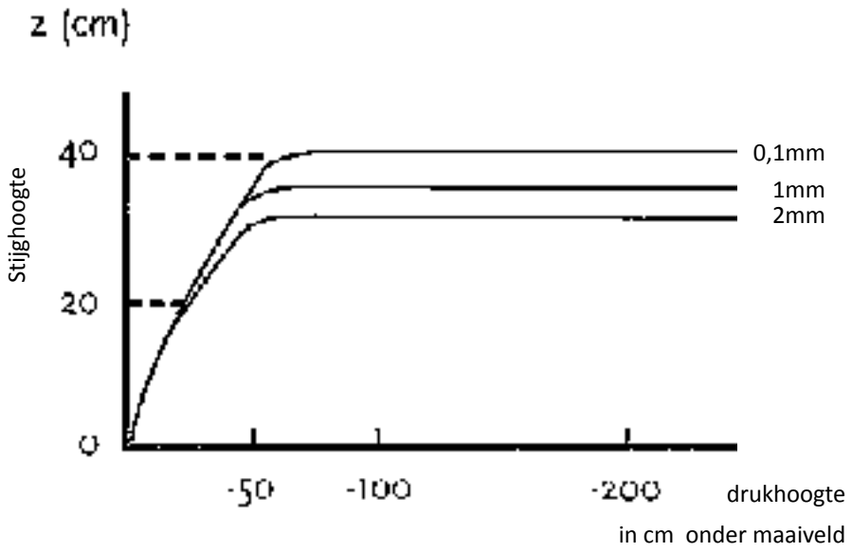
Tabel 6 Hoeveelheid capillaire werking

Bron: Stadsbomen Vademecum 2a

4.2.4. Hoeveelheid capillaire werking

De hoeveelheid capillaire werking is afhankelijk van de grondsoort en de fractie daarvan. Uit het onderzoek van Berendsen, H.J.A.,Landschap in delen, 2008, blijkt dat de capillaire werking per grondsoort verschilt. Volgens het Stadsbomen Vademecum 2a is capillaire werking goed meetbaar bij homogene bodems. Deze bodems zijn voorzien van een gelijkmatige profiel zonder storende lagen. In grove zandgronden is de capillaire opstijging enkele decimeters terwijl bij lemig* fijn zand de stijghoogte kan bedragen tot 1,5 m (zie tabel 6).

** Leem is een grondsoort die voornamelijk bestaat uit silt (deeltjes met korrelgrootte tussen de 2 en 50/64 micrometer)*



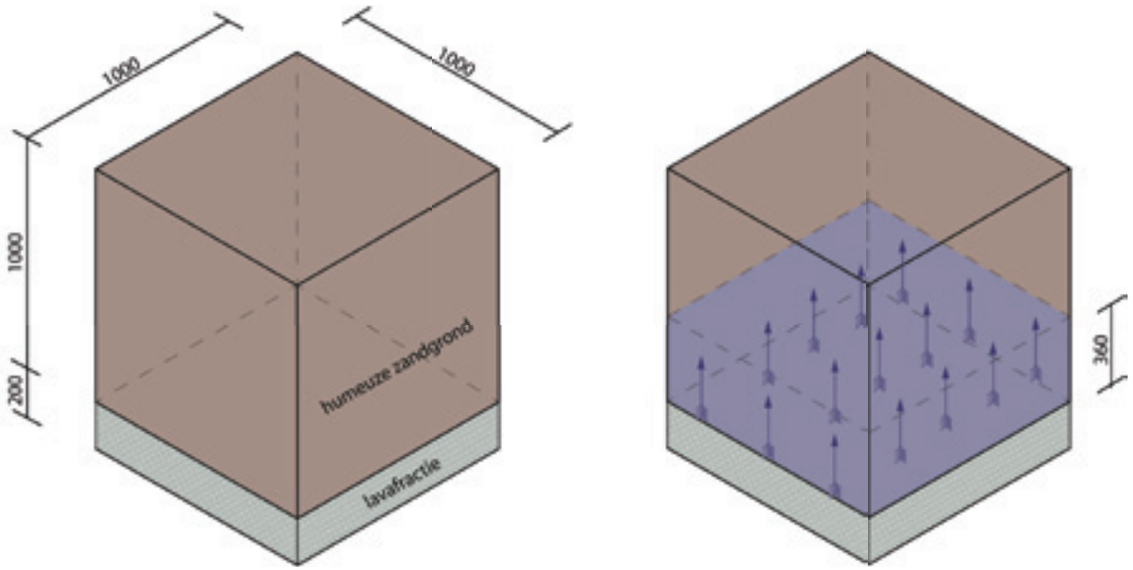
Figuur 17 aantal mm capillaire werking van een grove, leemarme zandgrond.
Z = stijghoogte

4.2.5. Aantal liters

Nu wij weten wat de stijghoogte is van een grondsoort, moet onderzocht worden welke hoeveelheid liters er via capillaire opstuwing opstijgt.

Onderzoekers Locher en De bakker zeggen over de stijghoogte:*''Als de stijghoogte zo groot is geworden dat de capillaire werking minder wordt dan 2 mm per m^2 per dag, dan is dit een kritieke stijgafstand. Mocht de capillaire werking op dit punt zijn bereikt zou dit voor de vochtbehoefte van de boom nauwelijks een rol spelen''* (Zie tabel 17 Hoeveelheid capillaire werking tabel) *Bron: Locher & De Bakker, 1990.*

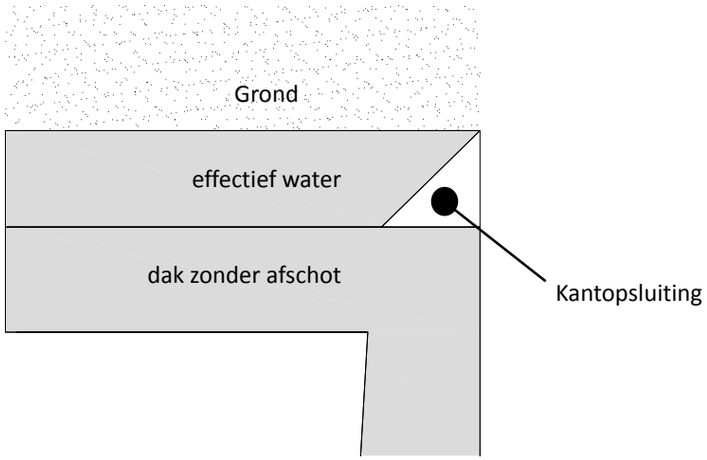
Dit betekent dat wij er vanuit moeten gaan dat een stijghoogte van 2mm/etmaal water geschikt is voor opname door bomen. Deze grafiek geeft weer tot welke hoogte het water zal stijgen van een leemarme zandgrond. Bij een drukhoogte van 50 cm onder maaiveld stopt de capillaire werking en nemen de wortels het vocht op (Zie figuur 17).



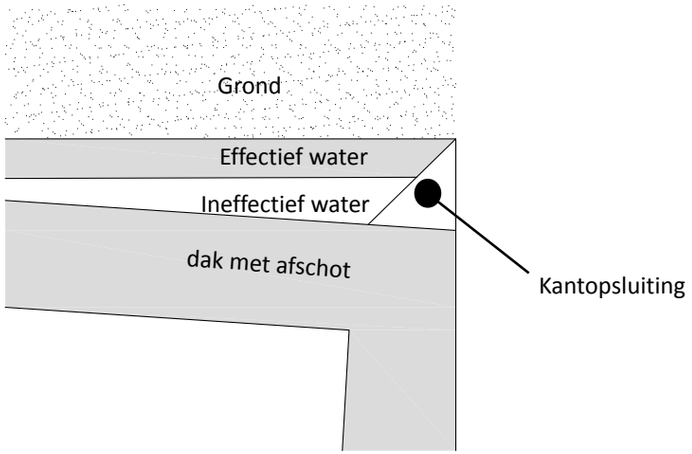
Figuur 18 hoeveelheid capillaire werking

De maximale stijghoogte wordt berekend door de stijghoogte van 2mm/etmaal te vermenigvuldigen met het aantal groeidagen (180). Dit betekent dat de maximale stijghoogte, bij een grove, leemarme zand grond, 360mm bedraagt. Bij een zandgrond met een bergingscapaciteit van 190 liter zal, bij opraken van het vochtvooraad, 36% afkomstig zijn door capillaire opstuwing. Dit betekent dat de capillare opstuwing een vochtvoorraad aanlevert van 68,4 liter per groeiseizoen. (Zie figuur 18)

De hoogte van de capillaire opstijging is afhankelijk van de fractie van de grondsoort. Hoe kleiner de poriën en holtes, hoe hoger de capillaire opstuwing, maar hoe groter de poriën, hoe sneller het water opstijgt.



Figuur 19a effectief, beschikbaar water op dakparken zonder afschot



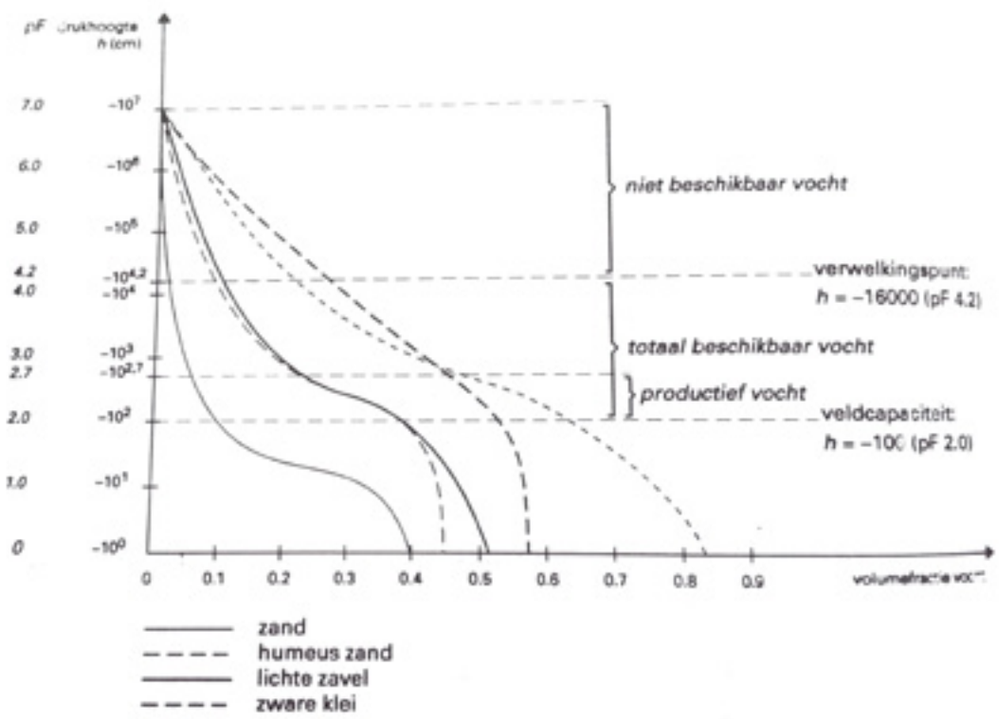
Figuur 19b effectief en ineffectief beschikbaar water op dakparken met afschot

4.2.6. Daken met afschot

Nu onderzocht is hoeveel liters vocht via capillaire werking wordt opgestuwd, is het van belang om te onderzoeken of al het water beschikbaar is om capillair te kunnen opstijgen.

Bij een dak zonder afschot zal er een gelijkmatig verdeelde waterstand worden gerealiseerd. Hierbij gaan wij ervan uit dat er ook een gelijkmatig capillaire opstuwing plaatsvindt. Bij een dak zonder afschot zal de laagdikte van de drainage/bufferlaag niet variëren (Zie figuur 19a).

Bij daken met afschot kan dit zorgen voor effectief beschikbaar water en ineffectief beschikbaar water. Wij verwachten dat, door sortering (fractiegrootte) van de drainage/ bufferlaag, er weinig tot geen capillaire opstuwing zal plaatsvinden binnen de drainage/ bufferlaag. Water dat onder de beschikbare effectieve waterlaag ligt, wordt hierdoor niet benut. Het gebruik van een kleinere sortering in de drainagelaag kan leiden tot capillaire opstuwing. Hierdoor kan zowel de bergingscapaciteit het drainerend vermogen afnemen van de drainage/bufferlaag. Daarnaast zal er meer materiaal worden gebruikt bij daken met afschot om het verschil op te vangen (Zie figuur 19b).



Figuur 20 Lijngrafiek vochtkarakteristiek

Bron: Cultuurtechnisch vademecum

4.3 Vochtvoorraad

4.3.1. Bodem

Voor beplanting is het hangwater en het capillaire water van belang. Weinig wortels zullen reiken tot beneden het freatisch oppervlak. Dit heeft te maken met de toevoer van zuurstof. In deze zone is nauwelijks tot geen zuurstof aanwezig. Boven de grondwaterspiegel heerst er een negatieve waterdruk ook wel vochtspanning genoemd. De waarden van vochtspanning wordt aangegeven in pF. Een Pf van 2 komt overeen met een vochtspanning van 100 hPa(hectopascal) en is gelijk aan 10 kn/m2. Bij een Pf van 3 is de vochtspanning 1000 hPa.

Bij een heftige regenbui zal het een langere tijd duren voordat het water in de poriën is uitgezakt. De hoeveelheid water, wat is uitgezakt in de poriën, noemt men de veldcapaciteit. In de meeste gevallen bedraagt de vochtspanning in de veldcapaciteit tussen de 1,7 en 2,3 Pf. Dit is de ideale vochtspanning voor beplanting om water te onttrekken uit de bodem. Mocht er meer water onttrokken worden uit bodem kan de vochtspanning toe nemen.

Grondsoort	Hoeveelheid beschikbaar vocht in liters / m3 grond
Straatzand (humusloos, matig fijn)	70
Humusarm duinzand	80
grondmengsel (matig fijn zand) + 2% organische stof	100
Zeer zware klei	110
Matig zware klei	130
humusarm dekzand (leemarm)	150
Grondmengsel (matig fijn zand + 5 % organische stof	150
lichte klei	160
Matig humeus dekzand (Leemarm)	160
Zware zavel	190
Grondmengsel (matig fijn zand + 8 % organische stof)	200
Lichte zavel	210
matig humeus dekzand (sterk lemig)	230
Löss	260
zeer humeus dekzand (sterk lemig)	270
veen (20 % organische stof)	330
veraard veen (60 % organische stof)	400

Tabel 7 Beschikbare vocht/m^3

bron: Stadsbomen Vademecum 2a

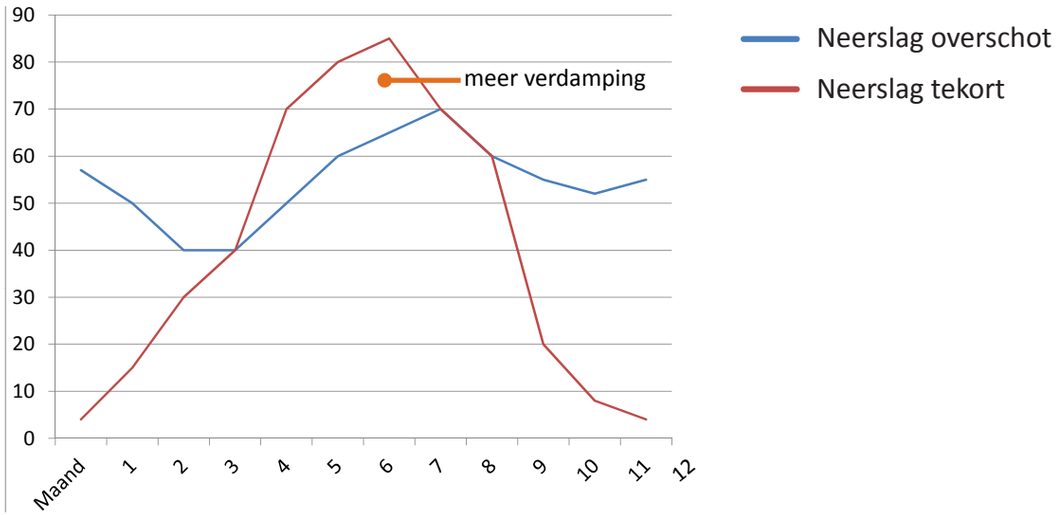
Bij een vochtspanning van 4,2 Pf of hoger, zullen de meeste planten geen vocht meer kunnen onttrekken uit de bodem. Hierdoor kunnen ze verwelken. Dit punt op de schaal van de vochtspanning heet dan ook het verwelkingspunt (Zie figuur 20).

Volgens de KNMI (Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut) heeft de grond de volgende percentages aan vocht:

''Het verschil in vochtgehalte tussen veldcapaciteit en het verwelkingspunt wordt het beschikbare vocht genoemd. Het gehalte aan beschikbaar vocht varieert nogal met het bodemtype. Bij zware klei bedraagt deze zo'n 12%, bij een lichte zavel is deze circa 25% en in zand is deze weer vergelijkbaar met zware klei (rond 12%). In veen is het beschikbare vocht zeer gunstig, namelijk circa 54%.'' Bron: Jilderda, KNMI, 1998.

Om een duidelijke weergave te geven van de hoeveelheid beschikbaar vocht per grondsoort is er een tabel gemaakt (zie tabel 7).

Ontrekken van te veel vocht uit de bodem kan leiden tot een te hoge vochtspanning. Hierdoor kan de beplanting verwelken. In een daktuin zal de buffercapaciteit beperkt zijn vanwege de geringe profielopbouw in combinatie met belasting van constructie. Hiervoor zal



Figuur 21 Neerslag overschot/tekort in mm per maand

Bron: Stadsbomen Vademecum 2A

materiaal moeten worden gebruikt met een hoog absorptiepercentage om vocht in de zomer vast te houden.

4.3.2. Vochtaanbod via neerslag

De vochtvoorraad in de bodem kan aangevuld worden met infiltrerend regenwater mits het effectief valt op de grond. Dit betekent dat de boom gebruik kan maken van dit reservoir uit de bodem.

In een groeiseizoen, die loopt van ongeveer eind april tot begin oktober, valt er gemiddeld 350mm. In een nat jaar is dit 540mm en in een droog jaar 125mm. Neerslag dat op het blad valt wordt verdampt op het blad. Dit heet interceptieverdamping. Dit vocht is voor de boom niet gebruiken.

In Nederland kunnen wij spreken van een neerslag overschot en neerslag tekort. In de zomermaanden van ons land, wanneer de temperatuur het hoogst is, is er een neerslag tekort. Dit betekent dat de vochtbehoefte van de boom niet kan worden gestild door de effectief beschikbare neerslag. Dit is in de maanden april tot augustus.

In de wintermaanden zorgt de neerslag juist voor een overschot. De verdamping van de bomen komt stil staan omdat de temperatuur in de wintermaanden daalt. De bomen worden

hierdoor niet geactiveerd en de ontwikkeling van de boom zal stilstaan (zie figuur 21).

4.4. Vochtverlies van bomen

4.4.1. Belang van water voor bomen

Water heeft verschillende functies bij de bomen. Een boom heeft gasuitwisseling met de atmosfeer nodig om te kunnen handhaven en groeien(productie). Om te kunnen groeien zijn onder andere mineralen nodig. Deze mineralen kunnen door het houtvatensysteem van een boom uit de bodem worden opgenomen. Andere bouwstoffen worden via het zeefvatensysteem van een boom opgenomen.

Naast opname via bovengenoemde vatensystemen kunnen bomen zelf voedingstoffen aanmaken(fotosynthese). De voedingstoffen worden getransporteerd middels het water(H_2O) in de boom.

Een bijkomende functie van het water is het handhaven van de turgor (de druk van de celinhoud op de celwand). De turgor zorgt voor stevigheid van beplanting.

4.4.2. Afsterven parenchymcellen

Bijkomend effect van de verdamping is dat parenchymcellen (weefselcellen) water verliezen en afsterven. Het verlies van weefselcellen betekent ook verlies van vocht. Per dag verliest een boom circa 2% van zijn vochtvoorraad aan dit proces.

4.4.3. Fotosynthese

Planten gebruiken hun bladeren voor het aanmaken van suikers. Dit proces wordt fotosynthese genoemd. Bij dit proces worden water(H_2O), koolstofdioxide(CO_2) omgezet in een suikergroep($C_6H_{12}O_6$) zuurstof (O_2). Lichtenergie wordt geconsumeerd. Tijdens fotosynthese raakt de boom een deel van het water kwijt door verdamping via de huidmondjes. Het waterverbruik van bomen middels fotosynthese bedraagt 0,5% van het totale waterverbruik.

4.4.4. Bloedingen

Bomen kunnen bloeden. Door beschadiging aan de boom, stroomt de sapstroom naar buiten. Grove snoei op een verkeerd tijdstip en wortelopdruk kunnen zorgen voor bloedingen. Door deze bloedingen stromen vocht en voedingstoffen via de wond naar buiten.

Omdat wij bij de case een meest gunstige groeiplaats willen inrichten, nemen wij bloedingen door wortelopdruk niet mee in de berekening voor de vochtbehoefte van een boom. De evapotranspiratie wordt wel meegenomen.

4.4.5. Proces na verdamping

Wij waren in de veronderstelling dat, bij een afnemende vochtvoorraad, de verdamping van de boom zou teruglopen door droogtestress*. Uit nader onderzoek van de heer Kopinga bleek echter dat de verdamping niet terugloopt bij het slinken van de vochtvoorraad (Bron: Jitze Kopinga). De heer Kopinga stelt dat de bomen, na het bereiken van hun verwelkingspunt, beginnen met verkleuring van het blad. (Zie ook paragraaf 4.1.2.) Daarna zal het blad opkrullen en eraf vallen. Vervolgens zal het vocht uit de takken en stam wegtrekken en zal de boom doodgaan. De exacte tijdsduur is bij ons niet bekend. Dit hangt van een aantal verschillende interne- en externe factoren als boomsoort, groeiplaatsinrichting een standplaats.

** droogtestress is de reactie die optreedt bij bomen na een lange periode van droogte. Zie ook paragraaf 4.1.2 en 4.4.*

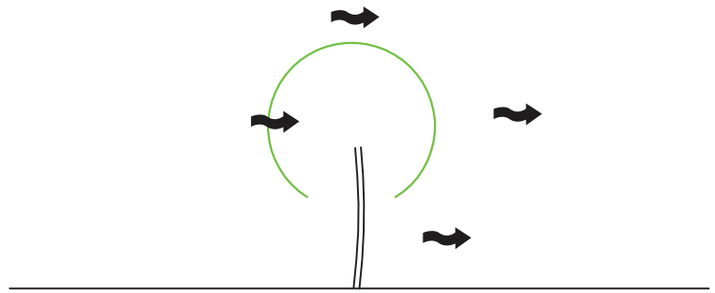
4.5. Verdamping

Zoals beschreven staat in paragraaf 4.4. is aanvoer van water noodzakelijk. Om dit te kunnen bepalen dient de vochtbehoefte van een boom te worden bepaald.

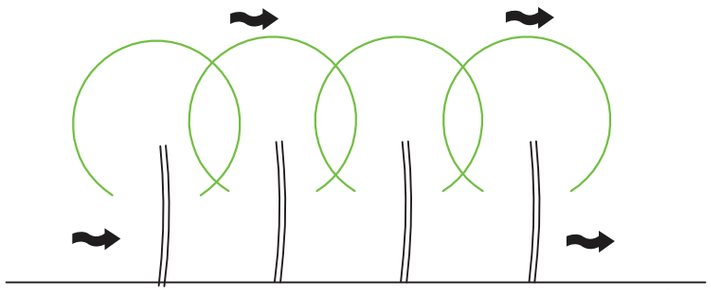
De vochtbehoefte hangt samen met de verdamping van de boom. De mate waarin de boom zijn vocht verdampt hangt af van:

- Totaal aan verdampend bladoppervlak. Bladbezetting, dichtheid kroon en de stand van huidmondjes
- Externe factoren. Deze factoren bepalen hoe hard de omgeving het water verdampt uit het blad. Dit wordt bepaald door:
  - Wind
  - Standplaats
  - Zon
  - Windsnelheid
  - Luchttemperatuur

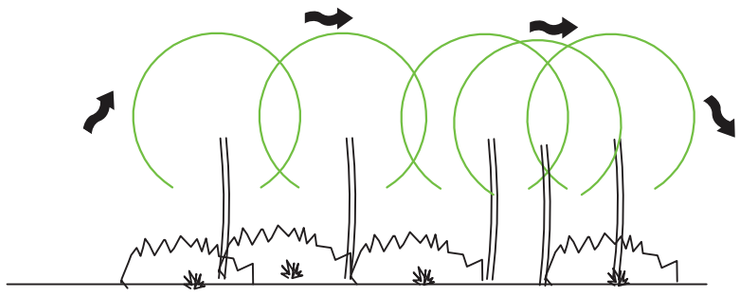
Door evapotranspiratie (verdamping) verliest een boom, via de huidmondjes, per dag circa 97,5% van de dagelijkse wateropname. Doordat bijna al het water via verdamping wordt verbruikt, richten wij ons in dit rapport alleen op de verdamping via de kroon.



Solitair, veel verdamping



laan, redelijke verdamping



Bos, weinig verdamping

Figuren 22 Standplaats leidt tot verschillen in verdamping van bomen

4.5.1. Factoren

Wind

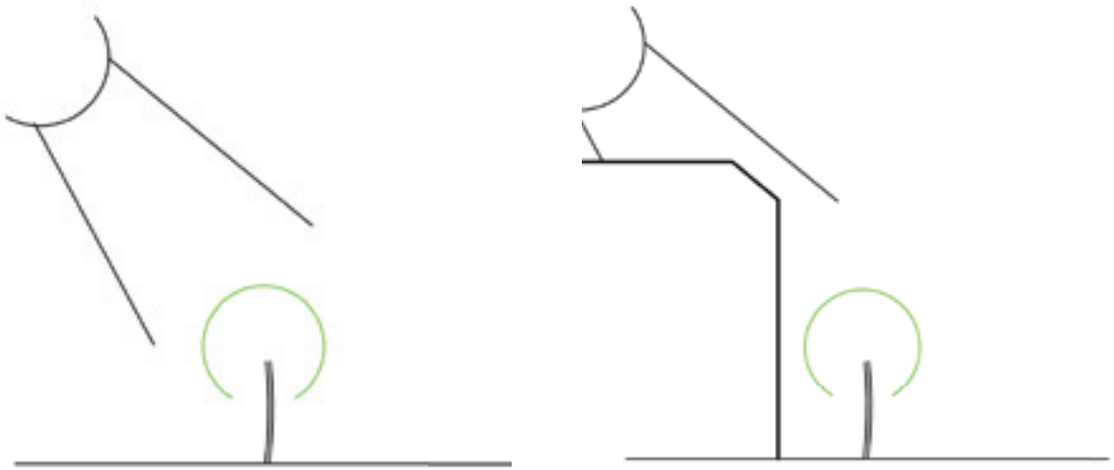
De kroon heeft invloed op de actuele verdamping van een boom. Dit heeft te maken met de bladdichtheid van de kroon. Bij bomen met een open kroon zal de wind sneller beslag leggen op de totale kroon. Bij bomen met een dichte kroon zal de wind sneller langs de kroon waaien en de buitenste rand meenemen (Bron: Jan van Merriënboer).

Standpaats

Daarnaast heeft de standplaats van een boom ook invloed op de verdamping. In een bosrijke omgeving waar de bomen dicht op elkaar staan, zullen bomen minder verdampen doordat de wind geen vrijspel heeft.

Uit onderzoek van Wageningen Universiteit blijkt dat ‘‘*Bomen in het bos verdampen gemiddeld rond de 3 tot 4mm per dag bij een optimale vochtvoorraad. (Staelens en Mohren, 2012, pag 7)*.

Solitaire bomen hebben gemiddeld een verdamping van 5mm per dag. (Bron: Ad Olsthoorn). Zo kunnen wij onderscheid maken in verschillende beplantingstypen met verschil in verdamping (zie figuur 22).



Figuur 23 Wisselingen in luchttemperatuur en lichtinval van de zon zorgt voor een verandering in de verdamping

Zon

Zoals beschreven in paragraaf 4.5, heeft de zon invloed op de gemiddelde gewasverdamping per groeiseizoen van een boom. Bij bomen die in de schaduw staan, zal de verdamping minder zijn dan in de zon. In een stedelijke omgeving zal de verdamping van solitaire bomen en laanbomen aanzienlijk minder zijn door de zon (zie figuur 23). De stad heeft als het ware een eigen klimaat door schaduwwerking van gebouwen en andere opstakels. Volgens Kopinga heeft de zon wel de meeste invloed op de verdamping.

Luchttemperatuur en luchtvochtigheid

Een ander natuurkundige verschijnsel is dat de bladtemperatuur verandert naarmate de temperatuur daalt of stijgt. Bij daling of stijging van de temperatuur wordt er een mechanisme in het blad van de boom geactiveerd waardoor de verdamping wordt gereguleerd. In hoeverre de bladverdamping verandert is niet bekend.

Boomsoort + cultivar		Waterverbruik gehele boom per groeiseizoen in liters	Waterverbruik, liter/m2 per groeiseizoen
Salix alba 'Liempde'		824	159
Populus 'Robusta'		747	99
Populus 'Barn'		850	97
Populus 'Oxford'		657	90
Fraxinus excelsior		342	96
Alnus glutinosa		369	94
Acer pseudoplatanus		110	87
Acer platanoides		141	56

Tabel 8 waterverbruik van verschillende boomsoorten en cultivars
Bron:Stadsbomen Vademecum 2A

Sortimentskeus:

Niet alleen externe factoren zorgen voor een verschil in verdamping van een boom, maar ook de boomsoort is bepalend voor de verdamping. Uit een onderzoek van Braun, 1976 blijkt dat het waterverbruik van bomen, los van de externe factoren, varieert (zie tabel 8).

De kroonproject, standplaats van de boom en de boomsoort beïnvloeden de verdamping. Externe factoren die de verdamping beïnvloeden zijn wind, luchtvochtigheid/ temperatuur en zon.

Het begrip verdamping kunnen wij uitspecificeren in twee soorten verdamping: potentiële- en actuele verdamping.

4.5.2. Potentiële verdamping

Deze verdamping is voor een deel afhankelijk van zowel interne als externe factoren.
In het gemiddeld groeiseizoen is de referentieverdamping ongeveer 500* mm (Of liter per m2/kroonprojectie) Dit is gebleken uit de dagelijkse metingen van KNMI. Factoren als standplaats van de boom en L.A.I. (bladbezetting) spelen hierin een grote rol.

L.A.I. (Leaf Area Index) is het aantal vierkante meters blad per vierkante meter kroonprojectie. Bomen in stedelijk weefsel hebben een gevarieerde kroonprojectie. Bij een boom met weinig instraling van de zon is 500* liter verdamping per m2 kroonproject gangbaar. Echter bij bomen met veel instraling van de zon is de potentiële verdamping 1000* l per m2 kroonprojectie.

Stadsbomen Vademecum 2A schrijft hierover: *'De Leaf Area Index voor een gezonde, volwassen boom bedraagt rond de 4' Van Prooijen. G.J. 2006, pag 50.*

** Deze cijfers zijn gebaseerd op de totale verdamping per groeiseizoen.*

Actuele verdamping

Waar de potentiele verdamping voornamelijk is gebaseerd op bestaande richtlijnen van de KNMI bestaat er ook actuele verdamping. De actuele verdamping wordt bepaald door het vochtaanbod in de bodem en de zuinigheid van de boom. Dit is onder te verdelen in verschillende boomsoorten. Uit de tabel van Braun, 1976, blijkt dat er een wezenlijk verschil zit in de opname van vocht door bomen (zie tabel 8).

Vereenvoudigd model formule van Makkink

E-Ref (Referentie gewasverdamping):

E-Ref = [1/L x s/(s + pc)] x G x Q

Factor = 1
L = Latente warmte van verdamping,
s = Dampspanningscurve water
pc = atmospherische druk (100kha)
G = Getal is een gewasfactor
Q = globale radiatie gedurende de dag, 7500j/cm^2

Uitkomst vermenigvuldigen met de parameter afkomstig van de Leaf Area Index.

Totale verdamping per dag = E-ref x L.A.I.

Formule van Makkink

4.5.3. Berekenen van verdamping

Uit het onderzoek van de heer Kopinga, onderzoeker aan de universiteit van Wageningen, bleek dat wind, met windkracht 2 en hoger op de schaal van Beaufort, geen invloed meer heeft op de verdamping van de bomen. De meest invloedrijke factor is de straling van de zon. (zie ook paragraaf 4.5.). De straling van de zon is nauwelijks meetbaar omdat iedere locatie van een boom unieke externe factoren kent. Bijvoorbeeld schaduwwerking, lichtdoorlatendheid kroon, enzovoorts (zie paragraaf 4.5.1.).

KNMI (Koninklijke Nederlands Meteorologisch Instituut) heeft wel stralingskaarten gemaakt die de netto straling aangeven van de zon over ons land (zie bijlage VII). De netto straling wordt aangegeven in de eenheid Joule. Deze specificaties zijn nodig voor het invullen voor de berekening van de potentiële- en actuele verdamping van gewassen.

Het berekenen van de verdamping kan op twee manieren. Beide opties lichten wij toe en geven een advies voor het toepassen van de juiste formule.

Optie 1: Formule van Makkink:

Het KNMI berekent de gewassen door middel van de formule van Makkink. Makkink heeft een formule ontwikkeld om de verdamping te meten van gewassen als aardappels, granen en maïs. Kopinga heeft dit model vereenvoudigd voor het berekenen van de potentiële verdamping van bomen.

Dit model geeft weer hoeveel een gewas dagelijks verdampt. Door een gewasfactor in te voeren kan men berekenen hoeveel de dagelijkse actuele verdamping zal zijn van het gewas. Er zijn een aantal parameters bekend voor gewassen als maïs, aardappelen, graan, bieten, maar ook voor loof- en naaldbos. In dit geval is de formule niet representatief omdat wij niet uitgaan van een bos, maar van solitaire bomen.

Kopinga stelt hierbij voor om de uitkomst van de referentieverdamping te vermenigvuldigen met een factor. Deze factor is afkomstig uit de Leaf Area Index. In paragraaf 4.5.2. staat beschreven welke parameter er wordt gekoppeld aan een gezonde, volwassen boom (Zie formule van Makkink).

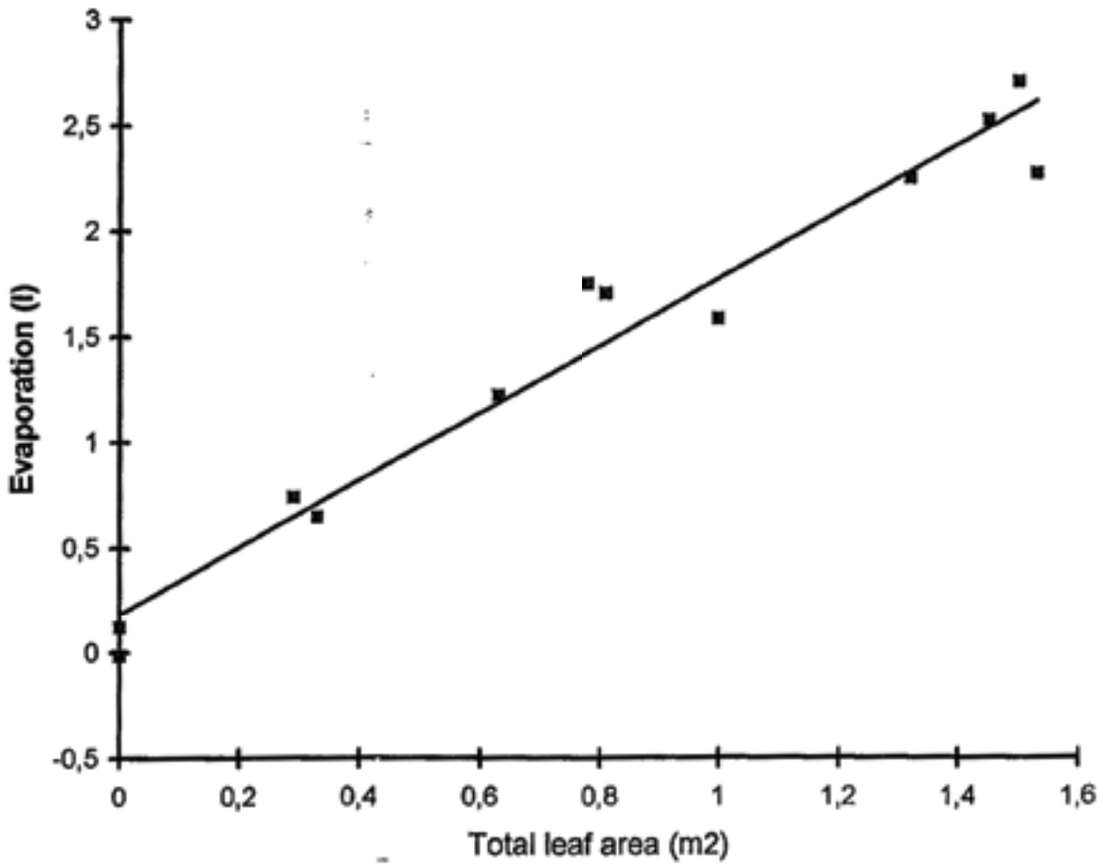
Boomsoort	Verdamping aantal liters /0,2m2
Acer platanoides	0.25
Acer pseudoplatanus	0.25
Aesculus hippocastanum	0.22–0.25
Castanea sativa	0.21
Ginkgo biloba	0.23
Pinus sylvestris	0.42
Quercus suber	0.48
Tilia × vulgaris	0.23

Tabel 9 Bladverdamping verschillende boomsoorten

Bron: Landscape below ground II

Optie 2: Empirische gegevens

Een tweede optie is om de verdamping te berekenen door middel van bladverdamping. De heer Kopinga heeft onderzoek gedaan naar bladverdamping van verschillende boomsoorten. In dit tabel wordt de bladverdamping weergegeven. De bladverdamping is per boomsoort verschillend. Acers (Esdoorn) verdampen aanzienlijk minder dan Pinus (Den). Dennen verdampen namelijk het hele jaar door en verbruiken meer water. Dit heeft te maken met de fysische eigenschappen van de boom zoals groeikracht, kroondichtheid, en andere eigenschappen (zie tabel 9).



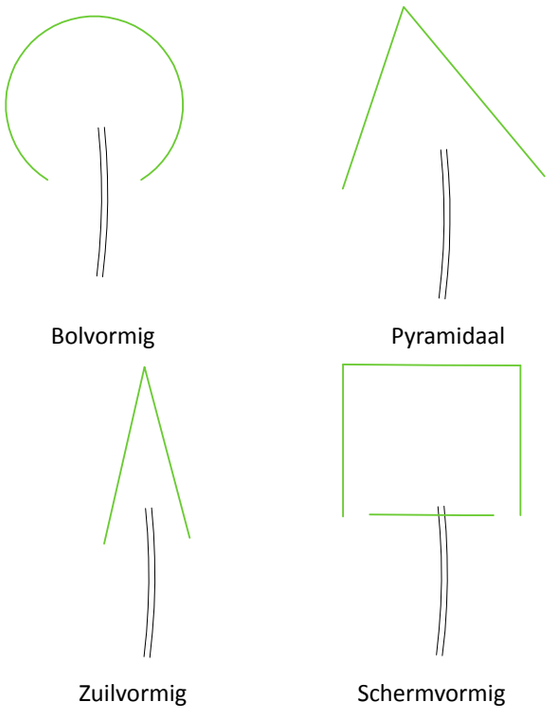
Figuur 24 Grafiek bladverdamping Tilia vulgaris (Tilia europaea) per bladvedamping/m^2

Bron: Landscape below ground II,

In figuur 24 zijn de startwaarden voor bladverdamping weergegeven. Bij elke 0,2 m^2 bladoppervlak komt hetzelfde aantal liters erbij. Kopinga gaat uit van een linear model waarbij er een aantal meetpunten (bomen) zijn die afwijkingen vertonen. Deze zijn tijdens een veldonderzoek op de universiteit van Wageningen geconstateerd (Zie figuur 24).

Bij de soorten die zijn onderzocht, kunnen wij berekenen hoeveel liter water per vierkante meter blad wordt verdampt. Om te achterhalen hoeveel blad er in een vierkante meter kroonprojectie aanwezig is, past men de Leaf Area Index parameters toe (zie ook paragraaf 4.5.2.) Gemiddeld wordt voor een volwassen, middelgrote boom een Leaf Area Index parameter toegepast van vier. Dit betekent dat er zich vier vierkante meter blad ontwikkelt in één vierkante meter kroonprojectie. Er zijn echter ook bomen met een dichtere kroon, en groter blad, die een hogere Leaf Area Index hebben. Deze waardes zijn bij ons niet bekend. Hierdoor zullen wij de gemiddelde waarde hanteren.

Formule: startwaarden bladverdamping 0,2m^2 x 5 = 1m^2 bladverdamping



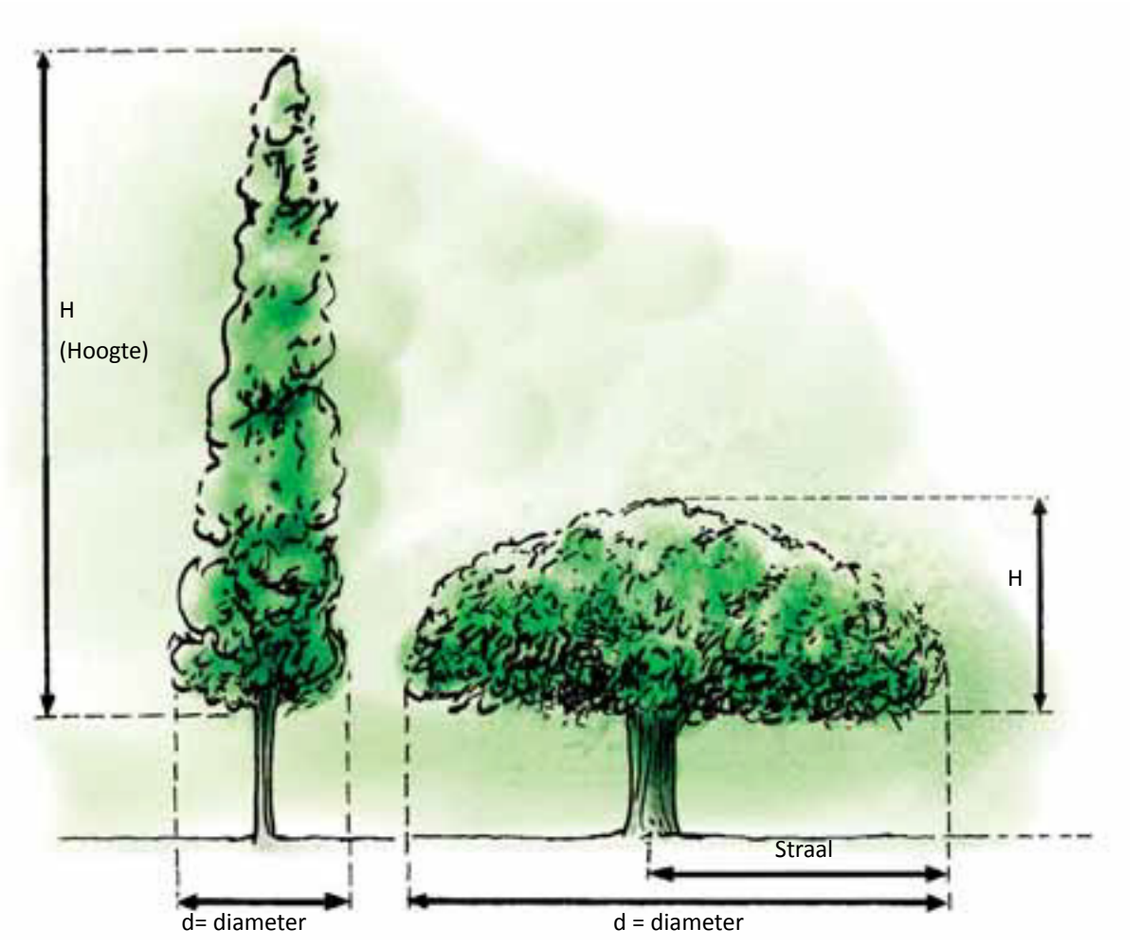
Figuur 25a

Verschil in kroonvormen

Middels het onderzoek van de heer Kopinga is berekend hoeveel liter een boom verdampt per vierkante meter blad. Onze theorie is om het aantal liters, hetgeen een boom verdampt per vierkante meter blad, te vermenigvuldigen met de Leaf Area Index van een solitaire boom. Door deze berekening wordt het aantal liters berekend per vierkante meter kroonprojectie. Hieruit ontstaat de volgende formule:

Formule: Aantal liters bladverdamping/m^2 x L.A.I = totaal aantal liters bladverdamping kroonprojectie/m^2 per dag

Het aantal liter water dat een boom per vierkante meter kroonprojectie verdampt, is nu bekend. Bij het berekenen van de kroonprojectie moet er rekening worden gehouden met de kroonvorm (zie figuur 25a).



Figuur 25b Berekenen kroonprojectie r x r x pi x h/d

r= straal, pi= 3.14, h= hoogte, d = diameter

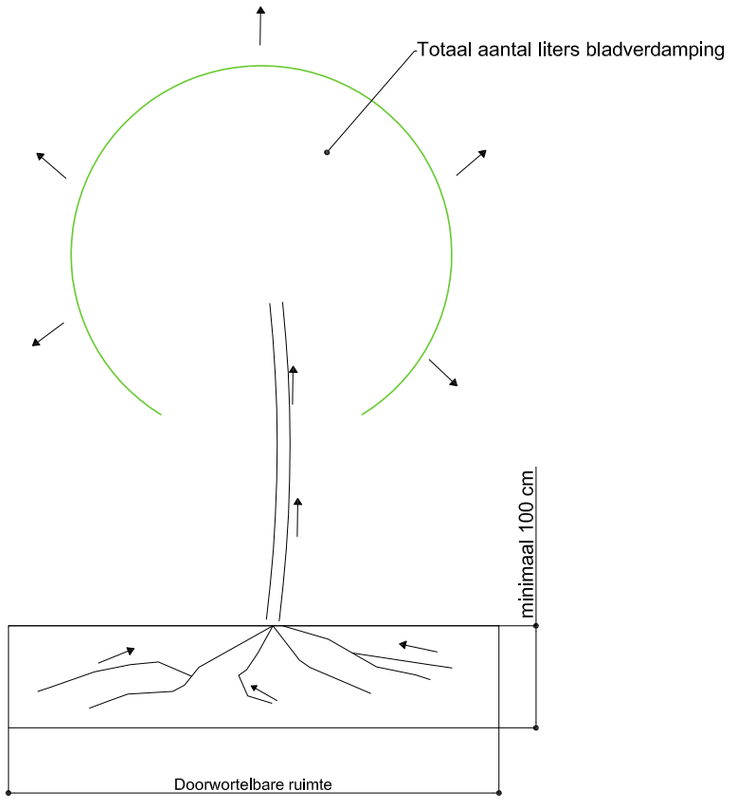
Bron: Technisch vademecum

Op bladzijde 63 is beschreven welke kroonvormen er worden gevormd door bomen. Om een exacte berekening te maken van de kroonprojectie wordt er een aantal formules gebruikt. De formule voor een boom met bolvormige kroon wordt de volgende formule gehanteerd: r2 x 3.14. Waarbij r staat voor straal. Hiermee wordt de oppervlakte van een bolboom berekend.

Bij afwijkende kroonprojectie als zuilvormig of schermvormig dient er een andere formule te worde gehanteerd namelijk: r2 x 3.14 x (H/D). De H staat voor hoogte en D voor diameter van de kroon. In de formule wordt hierbij een factor opgenomen. Over het algemeen heeft een zuilvormige boom een factor boven de 1. Een schermvormige boom heeft een factor minder dan 1 (zie figuur 25b).

Nu het totaal aantal oppervlak aan vierkante meter kroonprojectie van een boom is berekend, wordt dit getal vermenigvuldigd met het aantal liters bladverdamping inclusief de Leaf Area Index.

Totale verdamping boom per dag = kroonprojectie/m^2 x bladverdamping (inclusief L.A.I)



Figuur 26
Aantal vierkante meter kroonproject delen door doorwortelbare ruimte

Het totaal aantal liter water dat de boom verdampt, wordt gedeeld door het aantal vierkante meter doorwortelbare ruimte. Op deze manier wordt bekend hoeveel liter water de boom per vierkante meter doorwortelbare ruimte per dag verbruikt. Dit is van belang voor het bepalen van de juiste vochtvoorraad in de grond en de benodigde hoeveelheid effectief beschikbaar water als kunstmatige waterlaag (zie figuur 26). In paragraaf 4.1.2. wordt beschreven hoeveel minimale doorwortelbare ruimte er nodig is voor een boom.

De formule voor het berekenen van de wateropname per m^2 per dag is als volgt:

Wateropname doorwortelbare ruimte/ m^2 per dag = totale verdamping boom/ doorwortelbare ruimte/m^3

5. Referentiestudie

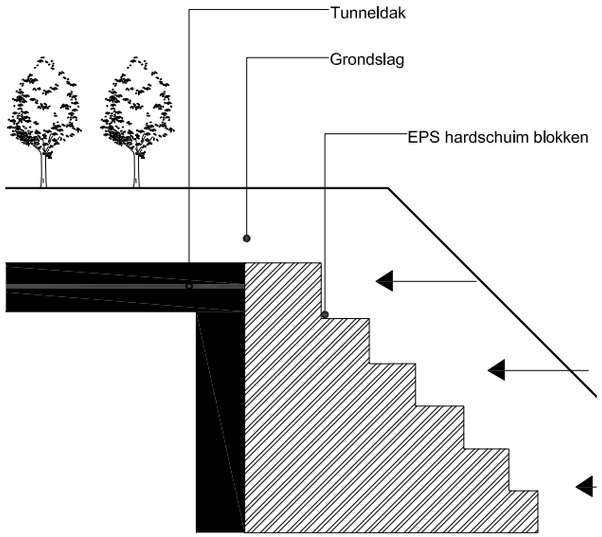
5. Referentiestudie

In dit hoofdstuk beschrijven wij een aantal referentiegebieden die wij hebben bezocht. De ervaring uit de praktijk leert ons of de theoretische modellen in de praktijk werken. Om een integraal beeld te krijgen van de (eventuele) problematiek proberen wij meerdere stakeholders (betrokken partijen) bij ons onderzoek te betrekken.

Wij nemen interviews af waarin wij gericht vragen stellen over de aanwezige boombeplanting op dakparken.

De bezochte referentiegebieden:
Dakpark Barendrecht
Park Over-bos, Breda
Odaparking, Sittard





Figuur 28
Taluds

Figuur 27
<< Dakpark Barendrecht

5.1. Dakpark Barendrecht

Introductie:

Het dakpark op station Barendrecht is ontstaan nadat vier sporen (HSL, Betuweroute en personenvervoer) zijn uitgebreid tot 9 sporen. Dit geeft extra geluidsoverlast met zich mee. Bewoners waren tegen de plannen van het plaatsen van geluidsschermen. De tunnel, waarin het station ligt, wordt nu afgesloten door een grote overkapping van maar liefst 1,5 km lang.

Holland Railconsult (nu Movares) heeft toentertijd de opdracht gekregen voor het ontwerpen van het station, spoorlijnen en omgeving. Hieruit is het dakpark ontstaan. Het dakpark moet een brug vormen tussen het woongebied aan de ene kant en de industrie aan de andere kant. Aangekleed met parkeerplaatsen heeft het park een multifunctioneel karakter (zie figuur 27 & 29).

De gemeente heeft haar voorkeur uitgesproken voor een vlinderpark. De beplanting is afgestemd voor vlinders. Daarnaast zijn er waterpartijen gerealiseerd.

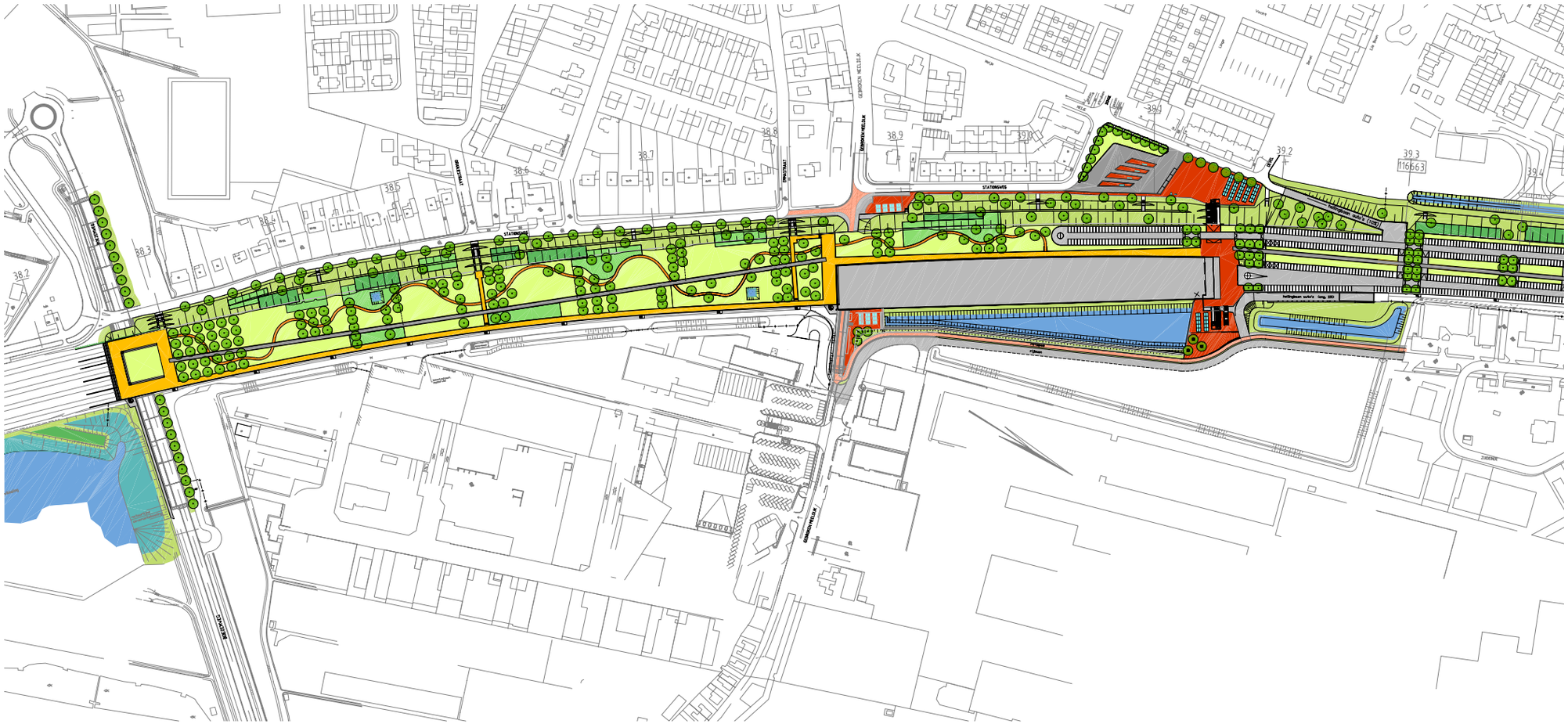
Verschillende routes verbinden de parkdelen. De parkdelen zijn voorzien van zitranden. Het pad aan de rand van de parkdelen kan worden gebruikt voor onderhoud en als calamiteitenroute

De centrale route, betonnen pad met dilitatievoeg, wordt de loper genoemd. Dit pad is omsloten met hoge plantbakken waarin de bomen staan (zie figuur 30 en 31).

Constructie:

Omdat de overkapping boven op het station rust, dienen er taluds te worden aangelegd. Middels EPS-blokken zijn de taluds voorzien van de nodige stabiliteit en deze reduceren de horizontale gronddruk op de tunnel. Mocht de gronddruk te groot worden zou het de tunnel van zijn plek kunnen drukken (zie figuur 28).

De profielopbouw, van de boombakken, bestaat uit verschillende materialen. Het betonnen dak is 100% waterdicht gemaakt, zonder enige coating of afwerking. Daar bovenop ligt een lavalaag van 15 cm. Deze laag wordt omsloten door RWS-banden (Rijkswaterstaat banden) van 15 cm hoog. Het totale oppervlak tussen de banden is voorzien van EPDM-folie om uitspoeling van water en lekkage te voorkomen.



Legenda verhardingen

- strengpers, gebakken klinker 30x15 rood en rood genuanceerd
- strengpers, gebakken klinker 24x11,8 karamel
- loper, beton elementen
- slingerpad, asfalt
- busplatform, asfalt
- oprit en parkeren, asfalt
- randelement pleinen, 30x20x100 hardsteenkleur
- randelement loper, 30cm breed
- calamiteiten weg, grasbetonstenen
- fietspad

Legenda

- boom nieuw
- beplanting hoog tot ong. 5m
- beplanting laag tot ong. 1,5m met solitairen
- gras/kruiden vegetatie
- gras/kruiden vegetatie op talud
- water
- plasberm
- fietsenstalling
- abri
- wenteltrap



Figuur 29 Ontwerp dakpark Barendrecht

Bron: Movares



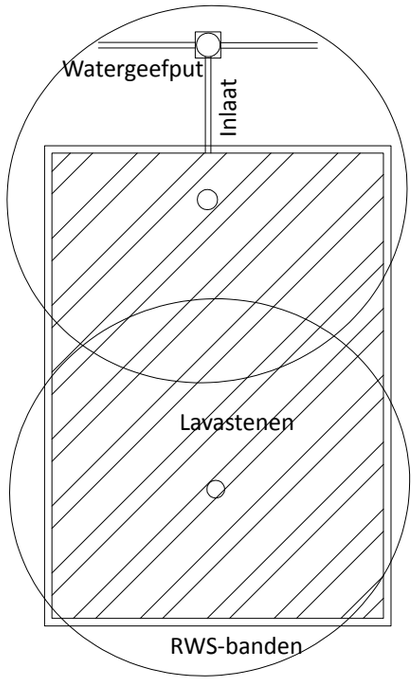
Figuur 30 Centrale loper



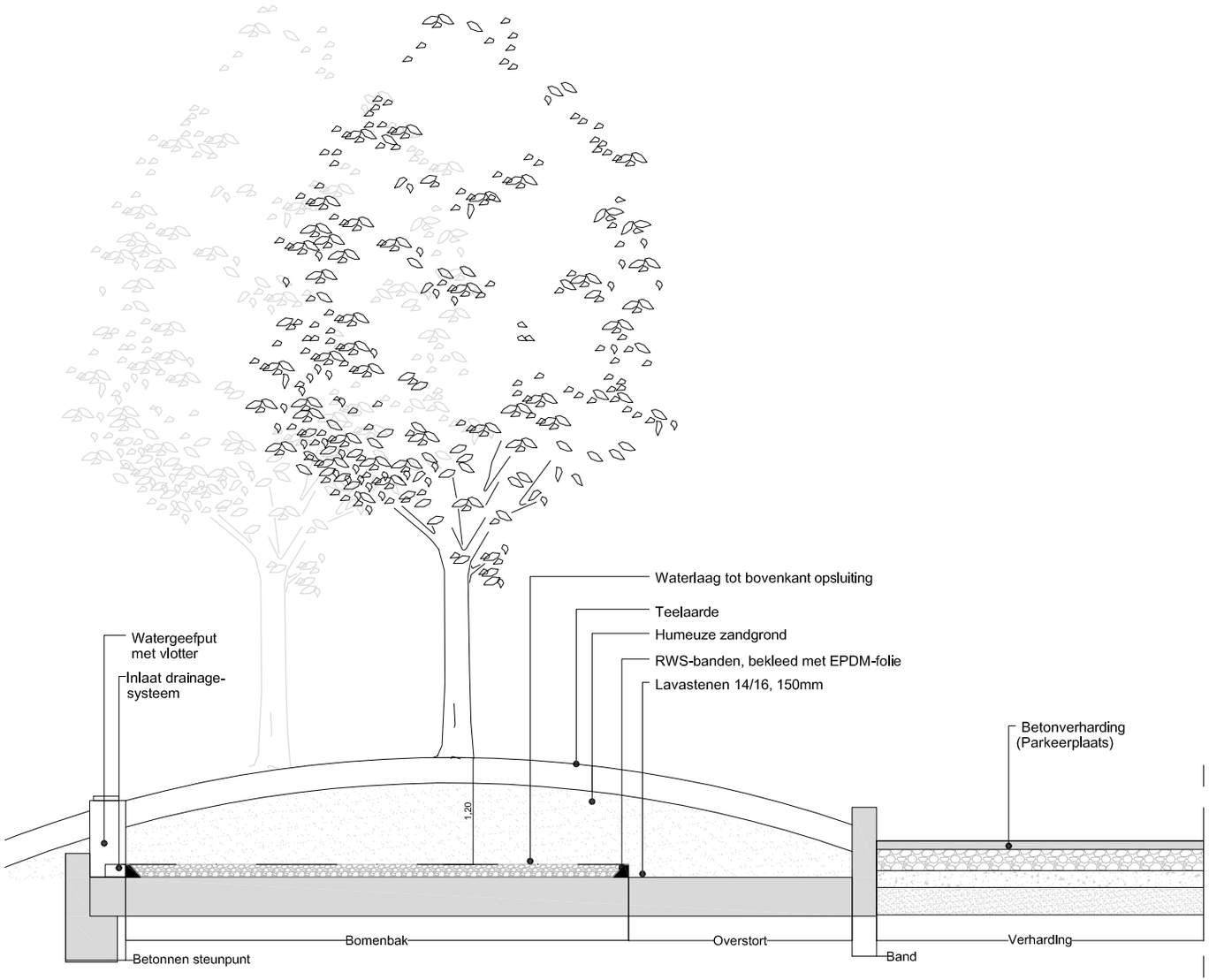
Figuur 31 Plantvakken met bomen

De aanvoer van water vindt plaats via een vlottersysteem. Er liggen meerdere putten in het park die voorzien zijn van een vlotter. De systemen zijn met elkaar verbonden door leidingen en die liggen in boombakken. Het water wordt opgepompt uit bluswater welke zijn aangelegd voor de brandweer om op te pompen (zie figuur 32 & 33). Een overschot aan water wordt voorkomen door het vlottersysteem. Het systeem houdt het peil onder de opsluiting waardoor overstort van water voorkomen wordt. Bij overvloedige neerslag kan het water naast de boombakken wel op het tunneldak vallen.

Hemelwater wat valt op de parkeerplaatsen, of overige infrastructuur, wordt afgevoerd naar het gemeentelijk riool. Op de lavalaag ligt een humeuze zandgrond met een hoog lutum gehalte. Deze grond heeft een hoog infiltratiegehalte en vochthoudend vermogen.



Figuur 32 Bovenaanzicht boombak



<< FIguur 33 Principeopbouw Dakpark Barendrecht

De teellaag bestaat uit een laag teelaarde met veel organisch materiaal voor grassen en vaste planten (zie figuur 33).

Sortiment bomen:

Het sortiment bestaat voornamelijk uit *Acer* (esdoorn), *Malus* (appel), *Prunus* (kers), *Betula* (berk) *Fraxinus*, (es) en *Tilia* (linde). Deze soorten zijn geselecteerd op wind- en vorstgevoeligheid. De omstandigheden zijn de criteria geweest voor de sortimentskeus.

De bomen zijn middels boompalen verankerd. Boompalen kunnen geplaatst worden door de dikte van het pakket bij de bomen. Deze bedraagt circa 150 cm. Hierdoor zal scheefstand voorkomen worden.

Problematiek:

In 2007 is er een probleem geconstateerd bij ontwikkeling van de bomen. Naderhand zijn er na schatting zo'n 150 bomen vervangen. Het probleem lag hem niet zo zeer in het systeem, maar meer in de onverwachte weersomstandigheden.

Na aanleg van het onderwater buffersysteem zijn de verschillende grondsoorten op de drainerende laag aangelegd. Bij aanleg hebben de weersomstandigheden een grote rol gespeeld in de verslemping van de bovenste twee toplagen. De verdichting van de toplaag heeft tot een storende laag geleid waardoor water in de bouwvoor, of zelfs op het maaiveld, bleef staan.

Dit water infiltreerde in de meest losse grond; de groeiplaats van de bomen. Hierdoor ontstond een verzadiging van de bodem. Dit leidde tot boomsterfte.

Oplossing:

Door de toplaag te frezen verdween de storende laag waardoor infiltratie van hemelwater versoepelde. Hierdoor verdween het water uit de bouwvoor. In 2007 zijn er nieuwe bomen geplant.



5.2. Park Overbos, Breda

Introductie

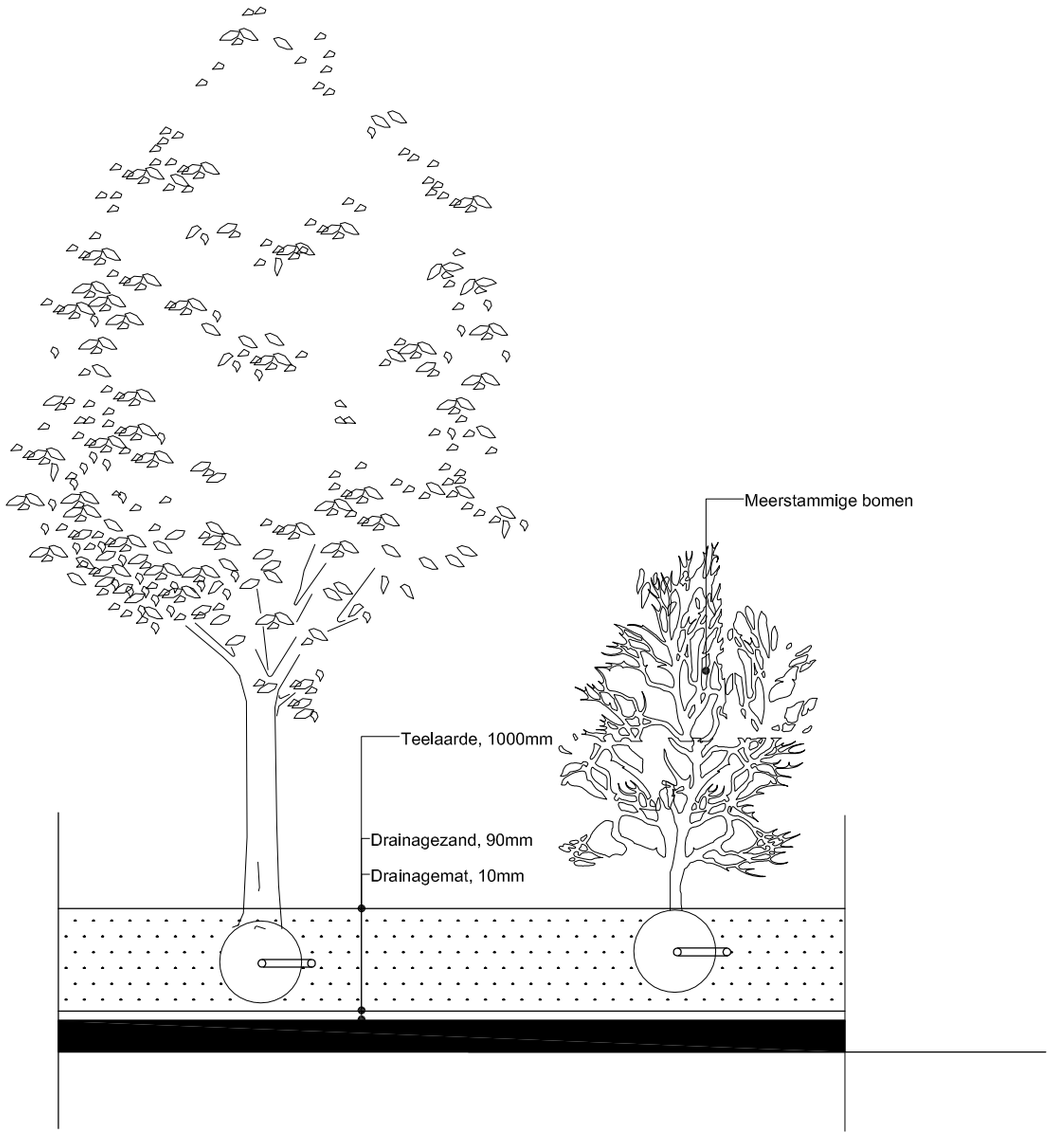
In de zomer van 2008 is tussen het dorp Prinsenbeek en Breda het park Overbos opgeleverd. Op de plek van park Overbos, lag oorspronkelijk een park. Dit park is, door de aanleg van de spoorlijn en verbreding van de autosnelweg A16, opgedeeld in tien deelgebieden.

De bewoners van Prinsenbeek wilden graag hun park terug zoals het oorspronkelijk was. Naast wensen van bewoners had de gemeente Breda te maken met eisen die door het Rijk waren opgelegd; regulatie van waterhuishouding en een parkachtige inrichting waarin niet gebouwd mocht worden.

De gemeente Breda heeft in samenwerking met Juurlink en Geluk BNS het nieuwe park ontworpen. Plan 3 en BSI hebben de civiel- en groentechnische uitwerking op zich genomen.

Het nieuwe park beslaat 13 hectare en heeft op twee plekken een overbrugging over de A16 en de spoorlijn door middel van een stadsviaduct (zie figuur 34).

Figuur 34
Dakpark Overbos



Figuur 35 Doorsnede profielopbouw Park Overbos



Figuur 36 Boven:Overloop van dakpark op natuurlijke grondslag
Onder: sortiment van Pinus en Betula

Constructie

Bovenop het tunneldak is het park voorzien van een drainagemat van een cm. Deze drainagemat zorgt voor de afvoer van het overtollig water in het park. Boven de drainagemat ligt een laag drainagezand die het water laat infiltreren in de drainagemat. Om goede groeiplaatsfactoren te creëren voor bomen, is er een laag van circa 90 cm teelaarde op de drainagelaag verwerkt. Dit heeft te maken met de maximale permanente belasting op het tunneldak. De bomen kunnen hierin net hun wortelgestel ontwikkelen. De bomen worden voorzien van vocht door middel van een druppelsysteem.

Vochtmeters meten de vochtwaarde in bodem en geven een seintje aan het geautomatiseerde pompsysteem. Bij een overschot aan vocht zorgt een drainagesysteem voor afvoer van het overtollige water (zie figuur 35).

Sortiment

Het park kent een beperkte variatie in het sortiment. Er zijn 400 stuks *Betula nigra* (zwarte berk), 770 stuks *Quercus robur,*(zomer eik) 800 stuks *Pinus sylvestris* (grove den) en *Pinus nigra subsp. nigra (zwarte den)* aangeplant (zie figuur 36).

De bomen zijn als boomgroepen of solitair toegepast. Onder de boomgroepen groeit een ruige kruidenvegetatie. Onder de solitaire bomen groeit gazon dat met regelmaat wordt gemaaid.

De bomen zijn vier meter van elkaar geplant. Dit is een korte plantafstand. Bij uitval van bomen zal 30 % niet worden teruggeplant. Het is de bedoeling dat er een losse structuur ontstaat waarbij de bomen, zonder concurrentie, uit kunnen groeien. Er zijn boompalen toegepast die de bomen verankeren tegen scheefstand.



5.3. Odaparking, Sittard

Introductie

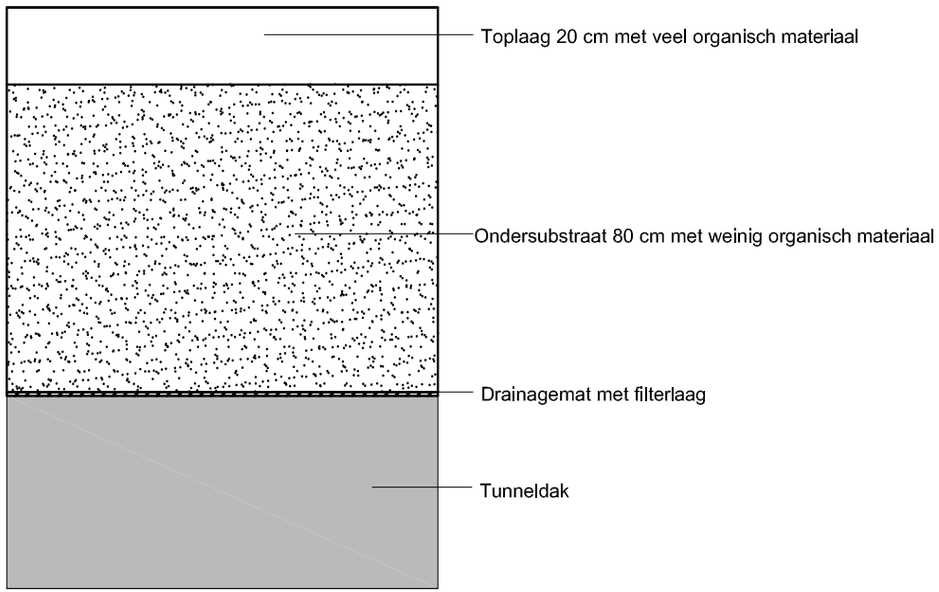
In 2007 is men begonnen met de engineering over één van de grootste Nederlandse dakparken. Boven op een ondergrondse parkeergarage werd er een park aangelegd van 18.000 m^2. Het park werd aangekleed met bomen en gazon. Optigroen werd in 2007 benaderd door het bedrijf Jansen de Jong Infra om mee te denken. Dit heeft geresulteerd in de start van de bouw in 2008 (zie figuur 37).

Constructie

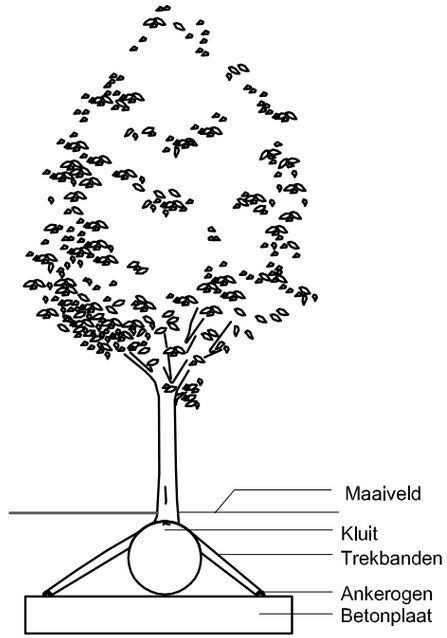
Het betonnen dek van de parkeergarage is voorzien van 2-laags verkleefde bitumen. In de bitumen is er een wortelwerend mengsel toegepast met er bovenop een beschermdoek van 500 gram. In dit systeem is er een drainagebufferplaat toegepast met een filter. Om goede groeiplaatsomstandigheden te creëren voor bomen is er een laag opgebracht met minimale hoogte van 100 cm. De laag bestaat uit twee substraten.

Het eerste substraat is een onderlaag van 80 cm. Dit substraat heeft weinig organisch materiaal. De reden voor dit substraat is het terugdringen van het verrottingsproces en verminderen van de capillaire werking om verzadiging te voorkomen. Het substraat bestaat uit een mengsel van grondstoffen uit de Eifel, lava uit Italië, en andere materialen uit Europa.

Figuur 37 Dakpark Odaparking
Bron: Optigroen



Figuur 37
Doornede constructie



Figuur 38
Doorsnede verankering middels trekbanden aan betonplaat

Projectleider Dennis Cleiren, Janssen De Jong Infra over het substraat: ''*Om het financieel haalbaar te maken hebben we het substraat zelf ontwikkeld, samen met een grondverzetbedrijf. We zijn in een laboratorium gaan mengen en testen voor het ideale mengsel''. Zitterdrevisited, 2007, pag 5.*

De laatste 20 cm bestaat uit een zogenaamd bovensubstraat. Dit substraat bevat veel organisch materiaal wat veel vocht vasthoudt voor de grassen. Daarnaast mogen er voedingsstoffen uitspoelen richting de onderlagen (zie figuur 37).

Dit systeem wordt van vocht voorzien door hemelwater. Bij grote periode van droogte zorgt men handmatig voor de aanvoer van water via een infiltratievoorziening rondom de bomen. Er kon voor dit systeem gekozen worden omdat er bomen zijn gekozen die weinig verdampen *(bron: Wil Tummes).*

Sortiment bomen:

Er is gekozen om het park alleen te voorzien van *Gleditsia triacanthos* (valse Christusdoorn). Naast het uniforme beeld verdampt deze boom minder en heeft het wortelgestel minder vlezige wortels.

De minimale verdamping van deze boom is te danken aan het minimale bladoppervlak per vierkante meter. Door zijn herfstkleur heeft de boom in het najaar een extra sierwaarde *(Bron: Wil Tummes).*

De verankering van bomen kan op verschillende manieren. Afhankelijk van de boomsoort en grootte kan men verschillende boomverankering systemen toepassen. Bij kleine bomen kan men gebruik maken van contragewichten. Grote bomen worden vaak verankerd door betongaasmatten of betonnen platen. Bij het dakpark op Odaparking is de volgende constructie toegepast: *''De boom met kluit zetten we bovenop de drainagematten. De kluit wordt met spanbanden verankerd aan de bodemplaat.'' Zitterdrevisited,2007, pag 6.* (zie figuur 38)

6. Conclusies

6. Conclusies:

In dit hoofdstuk beschrijven wij onze conclusies die wij kunnen trekken uit de literatuur- en referentiestudie. Deze conclusies zullen onze basis vormen voor het schrijven van algemene aanbevelingen en aanbevelingen voor de Tuinen van Nijverdal.

Tot slot schrijven wij een aantal aanbevelingen die uit onze conclusies naar voren komen. Deze projecteren wij op de Tuinen van Nijverdal. Voor dit project schrijven wij een aantal aanbevelingen met betrekking tot de kunstmatige waterlaag, capillaire werking en groeiplaatsinrichting

6.1. Beantwoording hoofdvraag

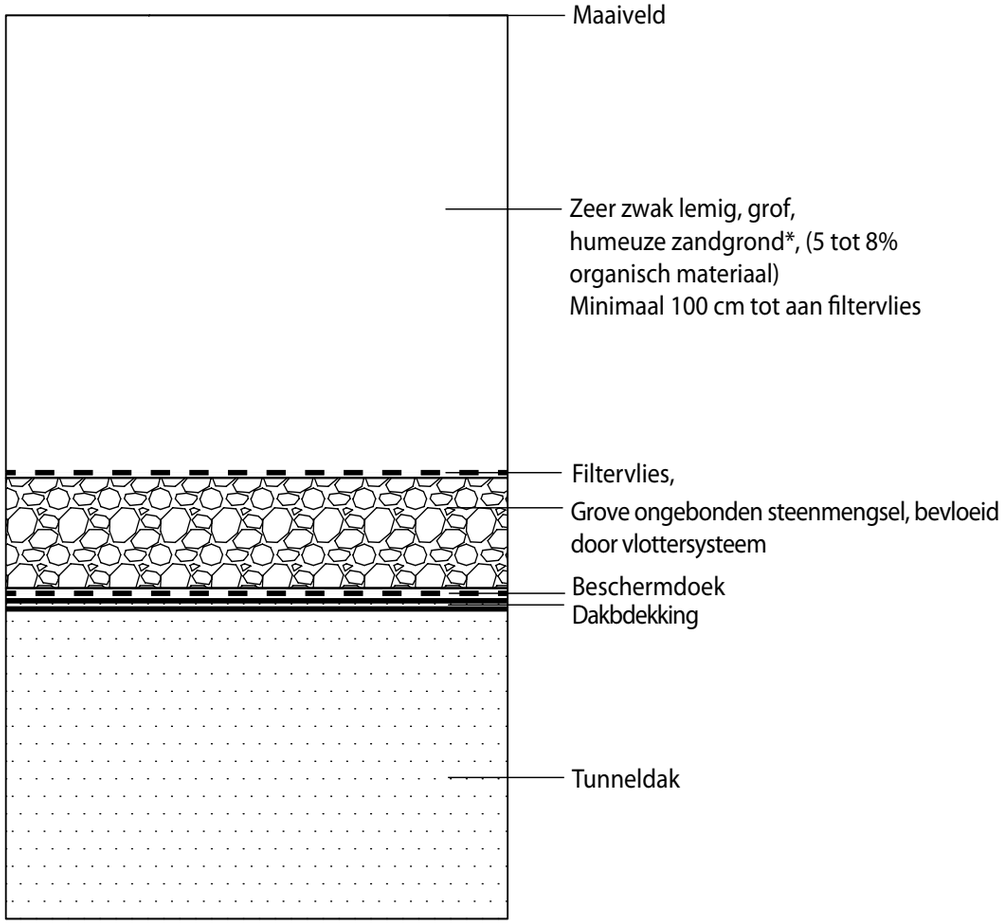
Voor dit onderzoek hebben we, zoals eerder vermeld, de volgende hoofdvraag opgesteld:

“Wat is de optimale groeiplaatsinrichting voor bomen in dakparken met kunstmatige waterstand?”

De belasting op de onderliggende constructie van een dakpark wordt zo laag mogelijk gehouden. Bomen hebben minimaal één meter nodig om te kunnen wortelen en daarmee stabiliteit te creëren. De hoeveelheid doorwortelbare ruimte bepaalt de hoeveelheid opneembare voedingsstoffen, lucht en water. Veertig kubieke meter voor een boom van de eerste grootte bij een grondwaterprofiel is ideaal. Bij 10 m^3 of minder doorwortelbare ruimte zal een boom nauwelijks groeien.

Zuurstof is van groot belang; de meeste soorten bomen sterven bij een zuurstoftekort van twee dagen. Sterfte door zuurstoftekort (tijdsduur: ca. twee dagen) duurt minder lang dan door watertekort(ca. zes weken). Minimaal 16% van de bodem dient uit lucht te bestaan. Het toepassen van substraten met een grove fractie(en dus grove poriën) of luchtdrains zorgt voor een betere luchthuishouding.

Dakparken met een kunstmatige waterstand zonder vlotter- of druppelsystemen zijn afhankelijk van het weer. Op deze dakparken probeert men neerslag vast te houden en door middel van capillaire werking later af te staan. Elke grondsoort of substraat heeft een



Figuur 39
Doorsnede verankering middels trekbanden
aan betonplaat

ander waterbergend vermogen en een andere capillaire werking. De fractiegrootte, het lutum- en leemgehalte bepalen het waterbergend vermogen. Het toepassen van een extra laag substraat met grove fractie vergroot de waterbergende capaciteit van een dakpark en dient als overstort. Uit onze beoordeling (zie tabel 2) blijkt dat lavastenen, bij dakparken met afschot, het meest geschikte materiaal is om water te bergen en draineren. Opsluitranden houden het water vast.

De capillaire werking is afhankelijk van de grootte van de poriën, en de hoeveelheid lutum- en leemdeeltjes in het substraat. Hoe fijner de poriën, hoe groter de capillaire werking. De hoogte van de capillaire werking is afhankelijk van de stijgsnelheid (2 mm/dag) en de duur van het groeiseizoen (circa 180 dagen). Bij een te grote capillaire werking zal het vocht dusdanig hoog stijgen dat het wortelstel van een boom in verzadigde grond komt te staan waardoor een zuurstoftekort optreedt.

Een optimale groeiplaatsinrichting moet de boom van voldoende water voorzien. Vlottersystemen en druppelsystemen kunnen bomen van voldoende water voorzien. De bomen zijn niet afhankelijk van de neerslag. De neerslag varieert per jaar. Dakparken met een kunstmatige waterstand zonder vlotter- of druppelsysteem functioneren alleen bij

voldoende neerslag.

Het waterverbruik van bomen bestaat voor 97,5% uit verdamping, 2% uit het afsterven van parenchymcellen en 0,5% uit fotosynthese.

Een gebrek aan water leidt tot een beperkte sapstroom waardoor de boom minder hard groeit, stevigheid verliest en uiteindelijk ophoudt met verdampen. Verdamping is afhankelijk van verschillende factoren waarvan sommige verschillen per soort boom. Een solitaire boom verdampt circa 4,5-6 mm. per dag. Dit is anderhalf keer zoveel dan een bosboom. Een bosboom verdampt 3-4 mm. De verdamping blijft constant totdat het water op is. Bij gebrek aan water vertoont een boom symptomen van droogtestress en sterft uiteindelijk. Makkink is een veel toegepaste methode om de potentiële verdamping te berekenen. Het berekenen van de actuele verdamping gebeurt vaak via empirische formules. Deze wordt nauwkeuriger geacht. Bij onze berekeningen waren de uitkomsten bijna gelijk.

Onze referentiestudie verliep niet naar behoren. Door de geringe tijd van onze afstudeerperiode en het beperkt aan reeds uitgevoerde dakparken van grote omvang, was het lastig om interviews af te nemen en de benodigde informatie te achterhalen.

Uit de referentiestudie blijkt dat de meeste dakparken met bomen worden uitgevoerd met een vlottersysteem of druppelsysteem die de bomen van water voorzien. Wij vermoeden dat vlottersystemen en druppelsystemen de beheerder van een groter gemak voorziet dan een dakpark welke voor een groot deel afhankelijk is van neerslag. Het monitoren van de bevloeiingssystemen gebeurd tot op heden weinig. Wij denken dat de ideale daktuinopbouw er uitziet zoals in figuur 39 is weergegeven.

6.2. Aanbevelingen

Na het voltooien van ons onderzoek zijn wij tot een aantal vraagstukken gekomen. Deze kunnen mogelijk gebruikt worden voor een nader onderzoek. In de case wordt een aanbeveling gegeven voor het project de Tuinen van Nijverdal.

Bladverdamping

De huidige methode voor het berekenen van de verdamping van een boom per groeiseizoen volgens het Stadsbomen Vademecum 2A is vrij globaal. Om de exacte verdamping te berekenen is o.a. de bladverdamping belangrijk. Wij hebben gemerkt dat deze van een beperkt aantal soorten bekend is. De Wageningen Universiteit and Researchcentre (WUR) heeft dit in de jaren ‘90 van de vorige eeuw onderzocht. Door onderzoek te doen naar de hoeveelheid bladverdamping van meer soorten bomen kan uiteindelijk de verdamping van een boom, vrij exact berekend worden. Hierdoor is het mogelijk een beter advies te geven voor de boomkeuze.

Internationale dakparken

Een vergelijkend onderzoek doen naar buitenlandse dakparken. Welke overeenkomsten en/of verschillen zijn er en waarom? Wellicht helpt dit onderzoek bij het verbeteren van dakparkopbouw en de verbreding van de materiaalkeuze.

Monitoren van bestaande bevloeiingssystemen

Uit ons onderzoek blijkt dat het monitoren van de huidige bevloeiingssystemen niet wordt gedaan. Hierbij kan gekeken worden naar het waterverbruik van vegetatie. Wellicht zijn er verschillen in waterverbruik. Ook kan er gekeken worden naar de groeikracht van bomen bij een druppel- en vlottersystemen. Daarnaast kunnen de onderhoudskosten van de verschillende bevloeiingssystemen in beeld gebracht kunnen worden.

7. Case: Tuinen van Nijverdal

7. Case: De Tuinen van Nijverdal

Nu wij deze conclusies hebben beschreven, willen wij dit aan de hand van een casus in een ontwerp verwerken. Via Movares hebben wij een ontwerp verkregen, waarin wij onze bevindingen kunnen implementeren in het ontwerp.

7.1. Ontwerp

Het betreft een groot dakpark in Nijverdal boven op een tunnel. In de tunnel ligt een spoorlijn en een weg. Het projectgebied heeft een langgerekte vorm van 450 bij 30 meter. Er dient een dakpark gerealiseerd te worden met bomen, zitelementen, fonteinen, keermuren en speelweides in bloemachtig grasland. Het park moet een tegenhanger worden van het stenige centrum van Nijverdal. Het project (zie figuur 40) wordt de Tuinen van Nijverdal genoemd. Het project Tuinen van Nijverdal kent een beperkte variëteit aan sortiment. De volgende bomen zijn gekozen voor het park:

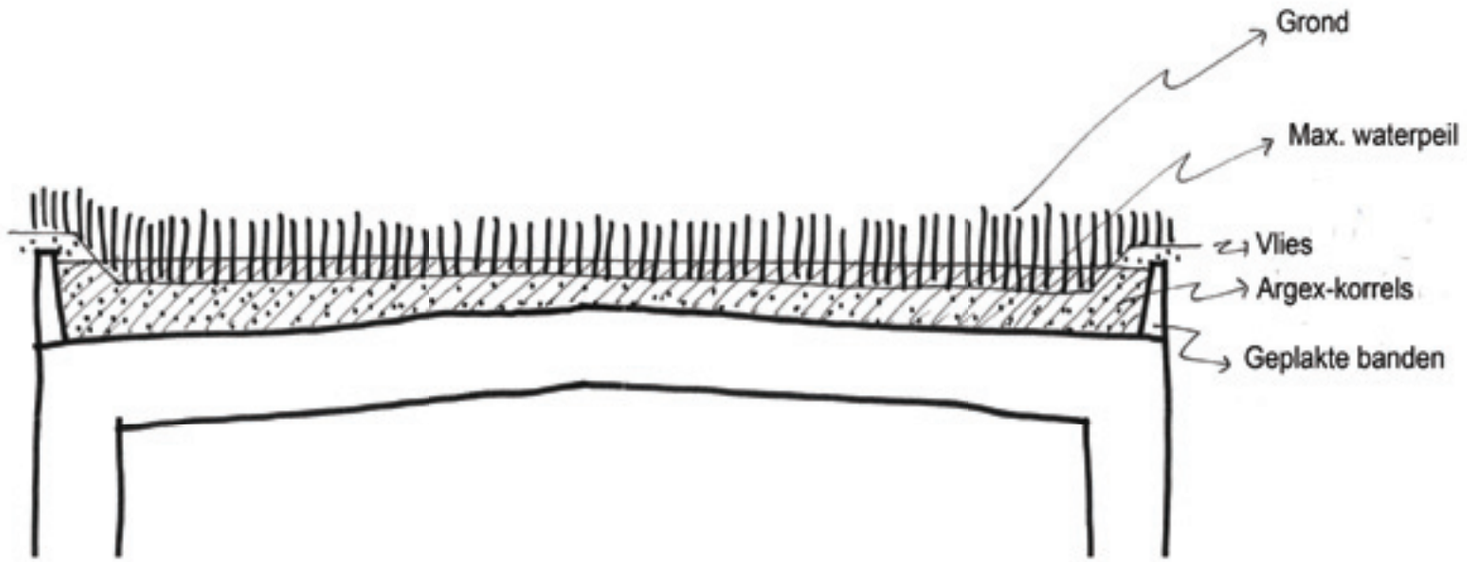
- *Liquidambar styraciflua* (amberboom)
- *Prunus serrulata 'Kanzan'* (Japanse sierkers)
- *Amelanchier lamarckii* (Amerikaans krentenboompje)
- *Tilia europaea* (Linde)
- *Pinus nigra* (Den)
- *Salix elaeagnos 'Angustifolia'* (Rosemarijnwilg)
- *Fagus sylvatica* 'Dawyck' (Zuilbeuk)


A
A'
B
B'
C
C'



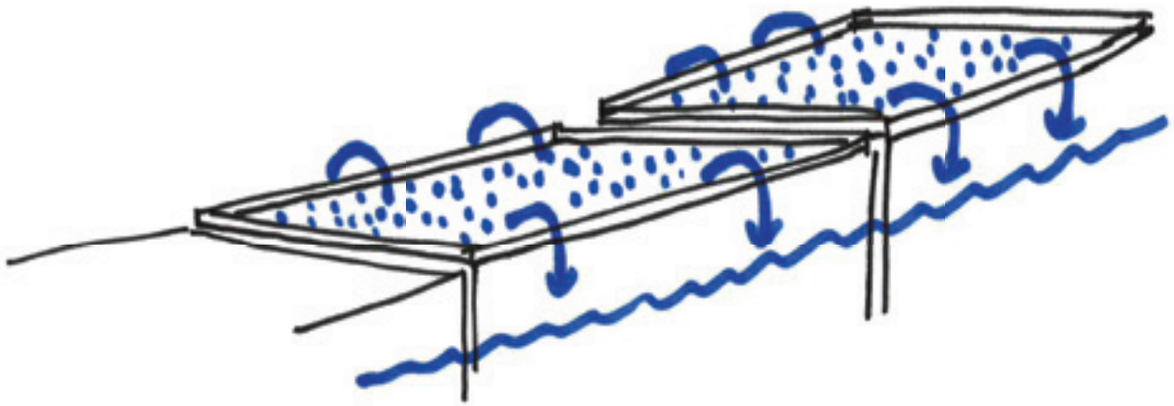
Figuur 40 Ontwerp

Bron: Movares



Figuur 41 dwarsdoorsnede moten

Bron: Movares



Figuur 42 water overstortsysteem

Bron: Movares

7.2. Watersysteem

Het opvangen van regenwater is op een daktuin noodzakelijk. Een dakpark heeft geen natuurlijke grondwaterstand en kan de beplanting zichzelf niet voorzien van vocht. Hiervoor dient er een systeem te worden ontwikkelt waarbij het water wordt vastgehouden zonder dat de bodem, en daarbij de bomen, verzadigd raakt.

Movares heeft een voorstel gedaan voor het opvangen en afvoeren van regenwater middels een kunstmatige waterstand. Dit kan, volgens Movares, door een verticale waterdoorlatende bodem als zwak lemig, matig fijn, humeus zand aan te brengen met daaronder een horizontale drainerende laag die het water afvoert.

De tunnel bestaat uit een aantal moten, met een licht dakprofiel, die voorzien zijn van een kantopsluiting (zie figuur 41).

Mocht het water te hoog worden, zal het water zijwaarts worden geloosd, over de kantopsluiting, naar het grondwater door een drainagesysteem (zie figuur 42).

Capillaire werking moet de bodem voorzien van vocht. Voornamelijk zal de vochtvoorraad leeg-raken in het voorjaar en de zomer wanneer de sapstroom en de bladontwikkeling op gang is.

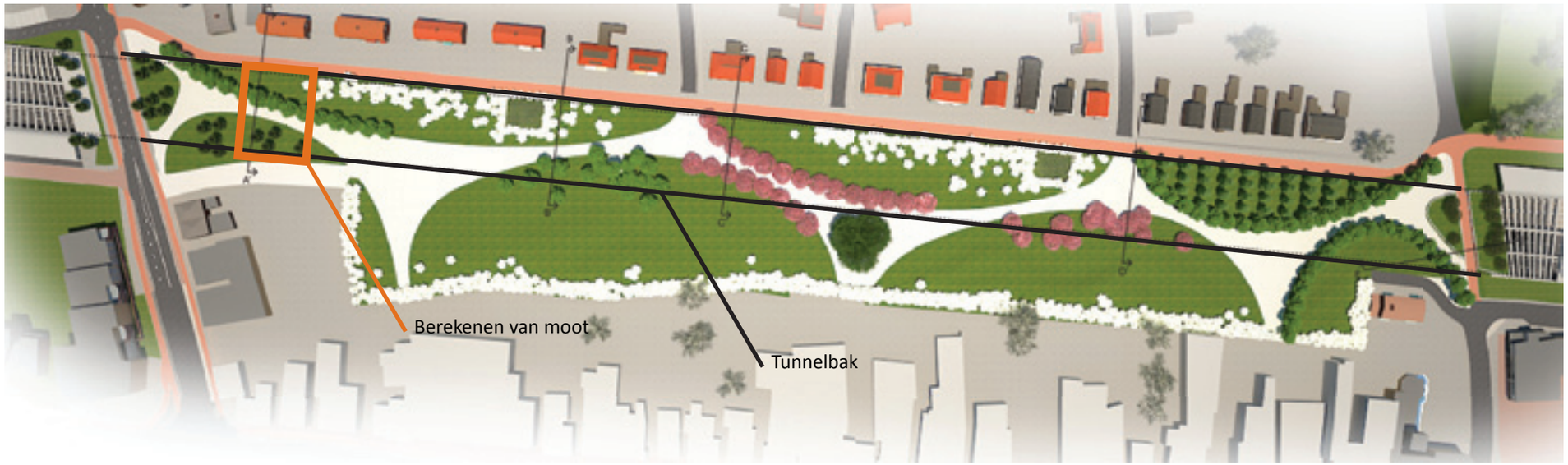
Daarnaast stelt Movares de volgende randvoorwaarden:

- *De permanente belasting van een boom mag niet meer zijn 150 kN/m^2, inclusief grondopbouw;*

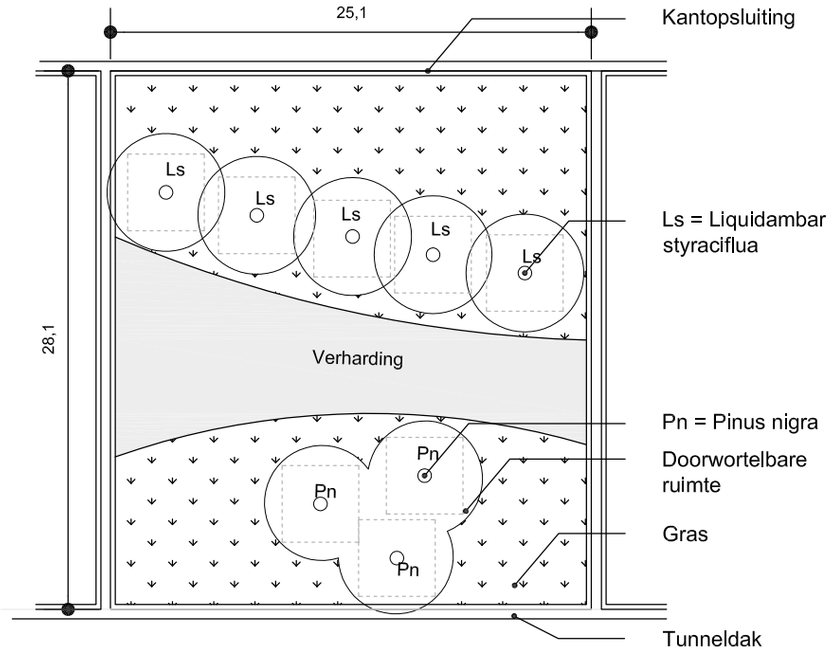
- *De maximale permanente belasting van de bodemopbouw is 22 kN/m^2. Hierin moet één meter aan doorwortelbare ruimte worden gerealiseerd met daaronder een drainage/ bufferlaag;*

- *Movares gaat uit van een doorwortelbare oppervlak van 16 m^2 per boom. (4 x 4 x 1m);*

- *Waar een periode van vier weken als niet uitzonderlijk wordt beschouwd, is zes weken van droogte wel uitzonderlijk. Als aanbeveling wordt gegeven om na vier weken van droogte te bevloeien. De boom moet minimaal vier weken worden voorzien van vocht uit het dekopbouw;*



Figuur 43 Mootaanduiding. Bron: Movares



Figuur 44 Bovenaanzicht moot

- *Bij de dunne profielopbouwen mag geen verzadiging van de grond optreden door middel van capillaire werking.*

Voor het berekenen van de vochtbehoefte zijn deze randvoorwaarden van belang. Bij het aandragen van een advies voor de juiste profielopbouw moeten wij rekening houden met een doorwortelbare ruimte van 16 m^2, en een vochtvoorraad aanleveren voor een periode van minimaal vier weken.

Om de vochtbehoefte van de bomen te berekenen, hebben wij een moot genomen uit het ontwerp en deze uitgedetailleerd (zie figuren 43 & 44).

7.3. Vochtbehoefte boom

Zoals beschreven in paragraaf 4.5. is de vochtbehoefte te berekenen op basis van de methode van Makkink of uit veldonderzoeken van de heer Kopinga. Om een nauwkeurige berekening te maken van verdamping van een boom wordt de methode van de heer Kopinga toegepast op het plangebied.

In paragraaf 4.1.4 en figuur 12 wordt de verhouding tussen doorwortelbare ruimte en kroonprojectie weergegeven. Als wij uitgaan van doorwortelbare ruimte van 16 m^2 zal een boom naar schatting een kroonbreedte hebben van zes tot acht meter. Het bepalen van de

BOOMSOORT: Pinus nigra		R x R x Pi x H/D*	Aanname: Pinus nigra verdampt 0,42l per 0,2/m2 blad		Doorwortelbare ruimte = 16m2
Kroonbreedte in m:	Straal=R in m	Totaal kroonprojectie	Aantal liters verdamping per m2 kroon	Totaal aantal liters verdamping per boom	vochtverbruik/m2 per dag
2	1	3,6	8,4	30,1	1,9
2,5	1,25	5,6	8,4	47,0	2,9
3	1,5	8,1	8,4	67,7	4,2
3,5	1,75	11,0	8,4	92,1	5,8
4	2	14,3	8,4	120,3	7,5
4,5	2,25	18,1	8,4	152,2	9,5
5	2,5	22,4	8,4	187,9	11,7
5,5	2,75	27,1	8,4	227,4	14,2
6	3	32,2	8,4	270,6	16,9
6,5	3,25	37,8	8,4	317,6	19,9
7	3,5	43,9	8,4	368,3	23,0

* hoogte/diameter wordt gegeven via een factor, omdat Pinus nigra een pyramidale kroon heef

BOOMSOORT: Liquidambar styraciflua		R x R x Pi	Aanname: liquidambar 0,30 l/0,2m2 blad verdampt		Doorwortelbare ruimte = 16m2
Kroonbreedte in m:	Straal=R	Totaal kroonprojectie	Aantal liters verdamping per m2 kroon	Totaal aantal liters verdamping per boom	vochtverbruik/m2 per dag
2	1	3,1	6,8	21,4	1,3
2,5	1,25	4,9	6,8	33,4	2,1
3	1,5	7,1	6,8	48,0	3,0
3,5	1,75	9,6	6,8	65,4	4,1
4	2	12,6	6,8	85,4	5,3
4,5	2,25	15,9	6,8	108,1	6,8
5	2,5	19,6	6,8	133,5	8,3
5,5	2,75	23,7	6,8	161,5	10,1
6	3	28,3	6,8	192,2	12,0
6,5	3,25	33,2	6,8	225,5	14,1
7	3,5	38,5	6,8	261,6	16,3

*Hoogte/diameter wordt gegeven via een factor, omdat Liquidambar styracifula een ovale kroon heeft

Tabel 10 berekening totale verdamping per boom

kroonbreedte is van belang voor het berekenen van de totale verdamping.

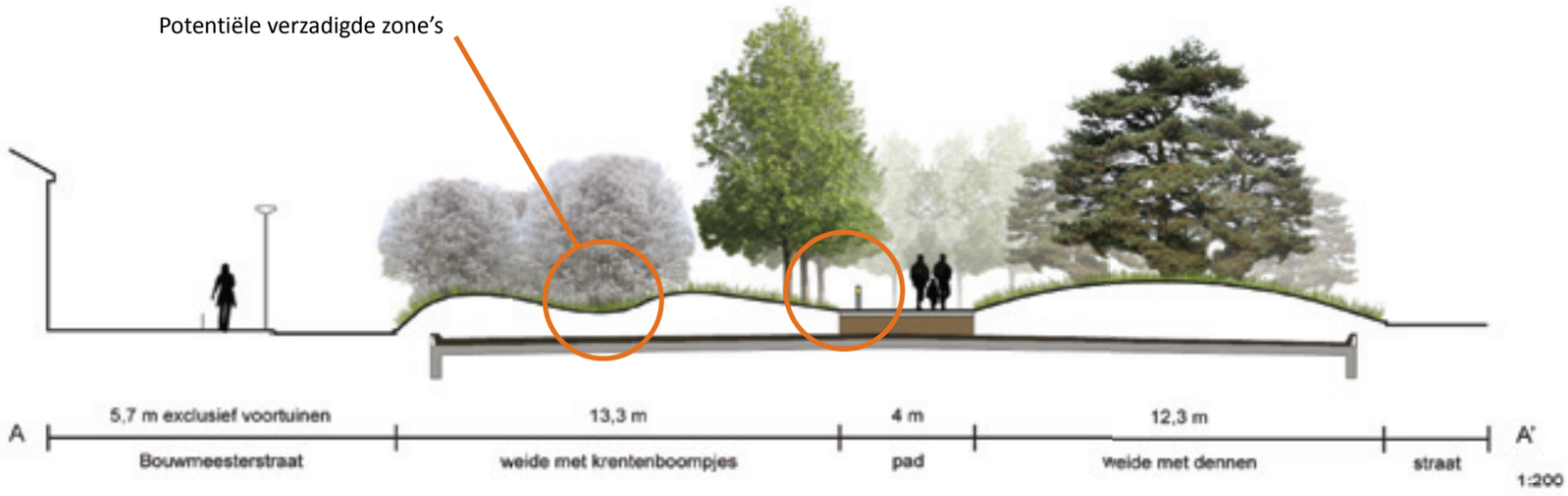
Bij het bepalen van het sortimentskeus is er door de ontwerper gekozen om *Pinus nigra (zwarte den)* toe te passen in het ontwerp. Uit onderzoek van de heer Kopinga blijkt dat een *Pinus sylvestris* (grove den) een bladverdamping heeft van 0,42l/0,2 m^2 blad. Als aanname houden wij deze bladverdamping aan voor *Pinus nigra* (zwarte den). Door de startwaarden te vermenigvuldigen met vijf zal de bladverdamping 2,1 l/m^2 bedragen.

Het aantal blad per vierkante meter kroonprojectie van een boom is de Leaf Area Index. Door het aantal liters bladverdamping te vermenigvuldigen met de Leaf Area Index wordt bepaald hoeveel liter de boom verdampt per vierkante meter kroonprojectie. Zoals beschreven in paragraaf 4.5.3. zijn er weinig L.A.I. waardes bekend van bomen. Wel wordt er gesteld dat een gezonde boom een Leaf Area Index heeft van vier.

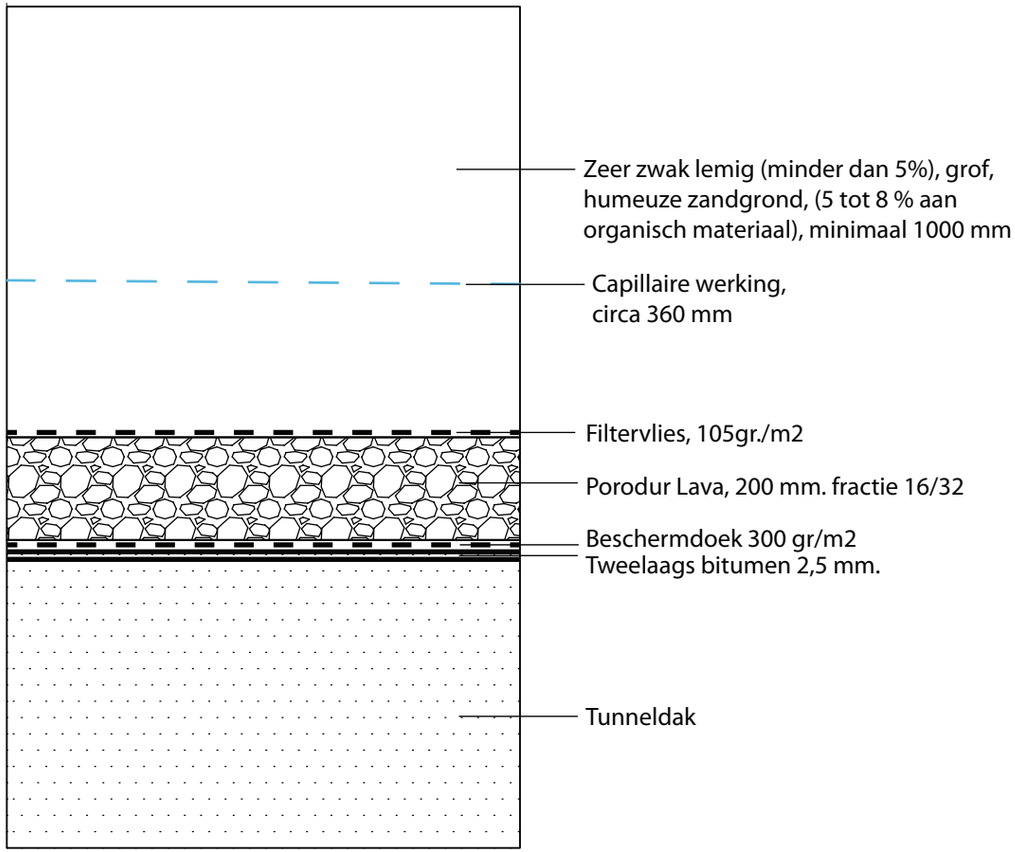
Nu kan het aantal liters bladverdamping vermenigvuldigd worden met de waarde vier. In het geval van *Pinus nigra* (zwarte den) betekent dit dat er per vierkante meter kroonprojectie 8,4 liter water wordt verdampt.

Om de kroonprojectie te kunnen berekenen is er bepaald dat, bij een doorwortelbare ruimte van 16 m^2, er een kroonbreedte kan worden ontwikkeld van zes tot acht meter in doorsnede. De hoogte kan worden bepaald aan de hand van de formule beschreven in paragraaf 4.5.3. De kroonvorm van *Pinus nigra* (zwarte den) wordt benaderd als een bol. Bij een afmeting van gemiddeld zeven meter in doorsnede ligt de kroonstraal rond de 3,5m. Bij berekenen van de oppervlakte van een piramidale vorm gebruikt men de formule: r2 x pi x [H/D] = totale kroonprojectie. Waarbij H de hoogte is en D de diameter van de kroon. Als aanname nemen wij een hoogte van acht meter. In deze situatie betekent dat: 3,5 x3,5 x 3,14 x 8/7 = 38.5 kroonprojectie/m^2.

Nu wordt het aantal liters, inclusief L.A.I., vermenigvuldigd met de kroonprojectie. Hiervoor wordt de volgende formule toegepast: totale verdamping = kroonprojectie /m^2 x verdamping/m^2, inclusief L.A.I. Bij *Pinus nigra* (zwarte den) met een kroondiameter van zeven meter betekent dit: 43, x 8,4 = 368 liter totale vochtverdamping.



Figuur 45 Hoogteverschillen op dakpark. Bron: Movares



Figuur 46 Profielopbouw voor bomen

7.4. Bodemopbouw

Zoals beschreven in paragraaf 7.2. zullen de delen met een dunne profielopbouw voor problemen zorgen, wanneer er geen balans is tussen het grondpakket en de waterbergende laag. Door capillaire werking kan het water naar de oppervlakte stijgen waarna het verdampt. Wanneer het grondpakket verzadigd is, zal er een te natte ongewenste situatie ontstaan. In deze situatie zal er anders moeten worden omgesprongen met bodemsamenstelling (zie figuur 45).

Aanbevelingen:

Uit paragraaf 4.2. en onze conclusies blijkt dat de poriën van de grondsoort, en het percentage aan lutum- en leemdeeltjes, bepalen hoe hoog de capillariteit van het water in de bodem is. Bij een grove fractie zal de capillariteit minder zijn dan bij fijne fracties. Theoretisch gezien is het plausibel om in het plangebied een zeer grove zandgrond, met minder dan 5 % aan lutumdeeltjes en met een korrelgrootte van 300 tot 420 µm aan te brengen. De grond dient voorzien te zijn van vijf tot acht % aan organisch materiaal. Wij stellen voor om tussen de drainerende laag en grove zandgrond een filterlaag toe te passen. Hiermee wordt uitspoeling van de zandgrond voorkomen en blijft bij het onderliggende steenmengsel het

Pinus nigra	Doorwortelbare ruimte = 16m2	Totale vochtvoorraad in de bodem	Aantal dagen totdat de vochtvoorraad op is
		250 l/m3	
Kroonrbreedte	vochtverbruik/m2 per dag		
2	1,9	250	133
2,5	2,9	250	85
3	4,2	250	59
3,5	5,8	250	43
4	7,5	250	33
4,5	9,5	250	26
5	11,7	250	21
5,5	14,2	250	18
6	16,9	250	15
6,5	19,9	250	13
7	23,0	250	11

Liquidambar styraciflua	Doorwortelbare ruimte = 16m2	Totale vochtvoorraad in de bodem	Aantal dagen totdat de vochtvoorraad op is
		250 l/m3	
Kroonrbreedte	vochtverbruik/m2 per dag		
2	1,5	250	163
2,5	2,4	250	104
3	3,5	250	72
3,5	4,7	250	53
4	6,1	250	41
4,5	7,8	250	32
5	9,6	250	26
5,5	11,6	250	22
6	13,8	250	18
6,5	16,2	250	15
7	18,8	250	13

Tabel 11 berekening verbruik aantal dagen
tot aan einde vochtvoorraad

drainerend vermogen behouden.

De maximale hoogte van de bodemopbouw wordt beperkt door de maximale permanente belasting tot een hoogte van 120 cm. Hieruit moet een drainage/bufferlaag en doorwortelbare ruimte van 100 cm worden gecreëerd. Zoals beschreven in de conclusies zijn lavastenen het meest geschikt als buffer/ drainagelaag bij daken met afschot (zie figuur 46). De lavastenen hebben een goed drainerend vermogen en hebben een hoge absorptiewaarde (circa 48 % van het soortelijke gewicht.

Bij het aanplanten van bomen zal het wortelgestel niet ontwikkeld zijn. Dit betekent dat de boom tijd krijgt om het wortelgestel te ontwikkelen richting de capillaire zone. Doordat er een maximale profielopbouw van 100 cm wordt gerealiseerd, zal de boom niet ver hoeven te wortelen. Hierdoor zal er geen verdroging plaatsvinden bij aanplant van de boom.

7.5. Hoeveelheid beschikbaar effectief water

De hoeveelheid water wat nodig is voor de bevloeiing van bomen is afhankelijk van het verbruik van de boom, drainage/bufferlaag en vochthoudend vermogen grond. In tabel 7 staat beschreven hoeveel vochthoudend vermogen een grondsoort heeft. Samen met de buffer/ drainage laag en de capillaire werking wordt de boom voorzien van vocht. In tabel 11 staat het vochtverbruik van de bomen per vierkante meter grond omschreven. Door het aantal liters te delen door de totale vochtvoorraad wordt berekend na hoeveel dagen de vochtvoorraad leeg is. Hierbij wordt wel uitgegaan van een laagdikte van 20 cm effectief beschikbaar water inclusief lavastenen.

In paragaaf 7.4. is beschreven welke bodemopbouw wordt toegepast. Uitgaande van deze situatie zal de grond een vochthoudend vermogen hebben van circa 190l/m^3. Door capillaire opstuwing wordt dit aangevuld met 68 liter (waterlaag inclusief het afgeven water door lavastenen). De bodem zal een totale vochtvoorraad bevatten van circa 250 l/m^2.

In tabel 11 is weergegeven na hoeveel dagen de vochtvoorraad op is door bomen met verschillende kroonbreedtes. Door de randvoorwaarden, welke Movares heeft gesteld aan de doorwortelbare ruimte, zullen bomen met een kroonbreedte van 4 tot 5 meter, een maand kunnen doen met de vochtvoorraad. Hierdoor is de eis van 4 weken uitzonderlijke droogte bereikt. Na deze periode dient er te worden bevloeid middels het aanvullen van water in de buffer/drainagelaag.

Bij het vergroten van de doorwortelbare ruimte zal het aantal liters verdamping/ m^2 niet afnemen. Bij het vergroten van de doorwortelbare ruimte zal de kroon in omvang toenemen. Hierdoor zal de totale verdamping van de boom toenemen.

Mocht er voor gekozen worden om bomen te nemen met een grotere kroonbreedte zal de boom meer doorwortelbare ruimte moeten krijgen om te overleven. In dat geval zal er een nieuwe berekening moeten worden gemaakt die antwoordt moet geven op de verwachtte frequentie van bevloeiing om de boom in leven te houden.

BRONVERMELDING

Bronvermelding & Literatuurlijst

Websites:

Alterra, publicatielijst Jitze Kopinga. http://www.wageningenur.nl/nl/Onderzoek-Resultaten/Themas/Thema-Natuur-en-landschap/Natuur.htm, (2013). Geraadpleegd op 20 mei 2013.

Dampspanningscurve/ vochtigheidsindicatoren.(1 januari 1995), http://www.kennislink.nl/publicaties/winter-weer-en-wegen-luchtvochtigheid. Geraadpleegd op 18 mei 2013

DDS, (2011) http://www.d-d-s.nl/capillaire-werking-water-antenne.html, Geraadpleegd op21 februari 2013

Drainproducts, (2012) http://www.drainproducts.nl/groendaken/geotextielen/ Geraadpleegd op 21 febr 2013-02-21

KNMI (Koninklijk Nederlands Meteorlogisch Instituut . (2013) http://www.knmi.nl/cms/content/64473/verdamping_in_nederland,Geraadpleegd op 21 februari 2013

Landschapsbeheerzeeland, (2011) http://www.landschapsbeheerzeeland.nl/uploads/ Geraadpleegd op 3 maart 2013

landschapsbeheerzeeland, (2011) /pdf/paragraphs/slz_24_capillaire_werking_lr.pdf Geraadpleegd op 21 februari 2013

Lavastenen, (2010) http://www.vandoorn-soest.nl/vds/lava-losgestort/producten/804/product-500162.html Geraadpleegd op 9 maart

wMasterplan coulissenlandschap deel 2, Park Overbos, Via Breda http://www.viabreda.nl/system/files/masterplan_coulissenlandschap_deel_1.pdf. Geraadpleegd in mei

Pull Rhenen, (2012) http://www.pullrhenen.nl/substraat/nl/producten/greenroof.html Geraadpleegd op 1 maart 2013

Studiobiologie, (2012) http://www.studiobiologie.nl/2efase/index_823.html, 28 maart 2013,

Tuin en Landschap, (2010) http://www.tuinenlandschap.nl/images/user/mce/File/Daktuinen.pdf, 21 febr 2013

Wetenschap.nu. http://wetenschap.infonu.nl/diversen/17537-de-structuur-van-de-aarde-grondwater.html. Geraadpleegd op 21 april 2013

Zinco, http://www.zinco.nl/systeemoplossingen/intensieve-daken/TechnischeIntensief.pdf. 21 febr 2013-02-21, Geraadpleegd op 1 maart 2013

Zitterd Revisited, (2013) *Schootsvelden en Odasingel*, http://www.sittard-geleen.nl/zitterdrevisited/Deelgebieden/1_Schootsvelden_Odasingel. Geraadpleegd op 10 mei 2013

Vakliteratuur/Boeken:

Bennink, P. Tuin en Landschap 14, Klimaatverandering en de stadsboom, (2010) uitgaveplaats en itgever: onbekend

Berendsen, H.J.A. *Landschap in delen: Overzicht van de geofactoren,* Assen: Koninklijke van Gorcum, 2008, Assen, Geraadpleegd in maart.

FLL, (2002). *Dakbegroeingsrichtlijn*. Delft: Thieme Media Services. Geraadpleegd in mei

Fysiologie, allocatie en groei, (2012) Wageningen, Universiteit van Wageningen

Hendriks, N.A. (2007). Daken in 't groen. Delft: Thieme Media Services Geraadpleegd in mei

Joye, T, *Technisch vademecum,* (2008), Agentschap voor Natuur en Bos. Geraadpleegd in mei/juni

Kopinga. J, *Landscape below ground part II*, (1999), Wageningen. Geraadpleegd in mei/juni

Kopinga. J, *Landscape below ground part III*, (1999), Wageningen. Geraadpleegd in mei/juni

Kopinga. J *Soil and volumes*, (1993), Wageningen. Geraadpleegd in mei/juni

Kopinga. J, *Lezing Ondergrondse groeiruimte voor bomen*, (2012), Wageningen, Geraadpleegd in mei

Mohren G.M.J, *Waterrelaties van bomen, en de rol van water bij de groei instituut voor Bos- en Natuuronderzoek (IBN-DLO)*, Wageningen, (1993). Nederlands Bostijdschrift. Geraadpleegd in juni

Optigroen, (2007). *Ontwerp- & technische handleiding dakbegroeiing,* Krauchenwies: Optigrün international AG. Geraadpleegd in juni

Ommeren van, W, Geurts R, *Technisch programma van eisen*. (2013), Velp, Repro Velp, Geraadpleegd in mei

Rutgers, J, Geografenkrant, *Het fysische geografisch practicum op school*, (1993), Geraadpleegd op 10 mei 2013

Staelens en Mohren, *Ecologie van Bossen* FEM10306, WUR, 2012, Wageningen. Geraadpleegd in februari

Schuring, W.(1990). *Toelichting op enige aspecten van de verdamping van (Stads)bomen*. Plaats uitgever & uitgever onbekend.

Schuring, W., Boekestein A., Hulsteijn K., & Thiel, F. (1993) *De verdamping van stadsbomen*. Plaats uitgever & uitgever onbekend

Teeuw, G., Ravesloot, C.M. *Begroeide daken na 2010*, (2011), Amsterdam, Techne Press. Geraadpleegd in mei

Tummers, J. Kraak, T. Puts, E. Frerik.W, *VO rapportage Tuinen van Nijverda*l, (2013) Utrecht, Movares adviseurs- en ingenieursbureau

Van Prooijen, G.J., *Stadsbomen Vademecum 2A Groeiplaatsaspecten*, (2004), IPC Groene Ruimte, Geraadpleegd in mei

Vries de, J. *Het nieuwe maaiveld. Bouwstenen voor de verticale stad*. (2011) Epos Press, Blauwedruk te Wageningen. Geraadpleegd in april/mei

Werkgroep Herziening Cultuurtechnisch vademecum , *Cultuurtechnisch vademecum*, (1988), Cultuurtechnische vereniging, Geraadpleegd in mei/juni

Zinco, Technische handleiding Systeem voor de intensieve daktuinen, 2012, Zinco, Uitgever. Geraadpleegd op mei

BIJLAGEN

Bijlagen

Bijlage I Beoordelingscriteria materialen

Bijlage II Interview dhr. Steven Jansen, Landschapsarchitect en adviseur, Movares

Bijlage III Interview dhr. Jan van Merriënboer, Groendocent hogeschool van Hall - Larenstein

Bijlage IV Interview dhr. Henk Vlijm, Marketing Directeur Optigroen

Bijlage V Interview dhr. Wil Tummes, Bomen beheerder, Gemeente Sittard-Geleen.

Bijlage VI Interview dhr. Jitze Kopinga. DLO Onderzoeker Alterra (Wageningen)

Bijlage VII Stralingskaart

Bijlage VIII Dampspannings curve water

Bijlage I

Beoordeling waterbergende/drainerende laag

In tabel 2 zijn de materialen voor de waterbergende laag aan een viertal factoren getoetst. De factoren omvatten het waterbergend vermogen, soortelijk gewicht, vormvastheid bij verzadigde toestand en de prijs/m3.

De beoordeling geschiedt volgens de +/- systematiek waarbij:

- ++ zeer goed is;
- + goed is;
- +- voldoende is;
- - onvoldoende is;
- -- slecht is.

De waterbergende capaciteit wordt op de volgende manier beoordeeld:

- >481 L = ++
- 361-480 L = +
- 241-360 L = +-
- 121-240 L = -
- 0-120 L = --

Het soortelijk gewicht van het materiaal wordt op de volgende manier beoordeeld:

- 0-360 kg = ++
- 361-720 kg = +
- 721-1080 kg = +-
- 1081-1440 kg = -
- >1440 kg = --

De prijs van het materiaal wordt op de volgende manier beoordeeld:

- 0-25 euro = ++
- 26-50 euro = +
- 51-75 euro = +-
- 76-100 euro = -
- >101 euro = --

Uit de tabel blijkt dat lavastenen het beste scoren. Drainagematten scoren hoog maar zijn door de kleine waterbergende capaciteit niet geschikt voor dakparken met bomen. Als derde komt steenwol het best uit de test. Steenwol kan vooral in verzadigde toestand niet tegen grote belastingen. Het steenwol zal ingedrukt worden. Humeuze grond staat op de vierde plek. De hoge belasting, en het relatief lage waterbergende vermogen zorgen voor een lage uitkomst. Kleikorrels komen het minst goed uit de test. De hoge kosten, de lage vormvastheid en grote belasting zorgen voor een lage uitkomst.

Voor het substraat/bodem bovenop de drainerende laag is de humeuze grond de beste keus. Het substraat hoeft weinig vocht vast te houden, moet kleine poriën hebben voor de capillaire werking en mag weinig kosten i.v.m. de grote benodigde hoeveelheid.

* De prijs is een indicatie op het moment van het zoeken daar van. Wij zijn ons ervan bewust dat deze per regio en tijd verschillen. Ook kortingen bij afname van grote hoeveelheden zijn hierbij niet opgenomen. Prijzen zijn exclusief BTW.

Vragenlijst interview Steven Jansen, Adviseur Movares over Barendrecht:

Vraag Wat is uw functie binnen Movares? Waar ben u voor verantwoordelijk?

Ik ben Steven Jansen, Landschapsarchitect en adviseur Mobiliteit en Ruimte

Vraag Heeft u vaker aan grote daktuinen gewerkt met een permanente waterstand?

Wel vaker met daktuinen. Op grote schaal is station Barendrecht daar een goed voorbeeld van

Vraag Waar worden dit soort projecten vaak gesitueerd? Alleen op stationsgebouwen?

Ecoducten zijn eigenlijk ook dakparken. Deze hebben wij ook veelvuldig aangelegd. Echter zit daar geen waterbufferend systeem in. Dit komt ook door de toepassing van heesters. Heesters halen hun water uit de hangwaterzone en zullen nooit diep wortelen. Misschien niet geschikt als referentieobject.

Vraag Ons onderzoek gaat over daktuinen waar verdroging en vernatting kan ontstaan. Heeft u dit probleem vaker geconstateerd bij projecten waaraan u hebt gewerkt? En wat waren de probleemfactoren?

Bij een project in Barendrecht hebben wij een dakpark aangelegd op het station. Hier zijn bomen geplaatst en gras aangelegd. De grond is na een paar natte periode gaan verdichten waardoor het als het ware een storende laag wordt gevormd. Dit heeft geleid tot verzadiging van de grond bij de bomen waardoor deze dood gingen.

Vraag Welke maatregelen zijn er genomen om vernatting en verdroging tegen te gaan? Is capillaire werking wel genoeg om bomen en gras te bevloeien?

Middels Lavastenen en RWS-banden wordt er als het ware een bak gemaakt. Deze bak wordt waterdicht gemaakt met folie. In de bak zit een laag lavastenen. Daarnaast ligt er een laag humeuze zandgrond en laag grond met veel organische stof. Een vlottersysteem moet de bomen in droge periodes voorzien van water. Waarbij een aantal putjes zijn aangelegd waardoor de beheerder het systeem kan beheren.

Vraag Is er bij de groeiplaatsinrichting van bomen nog iets toegevoegd als groeimedium(bomenzand, granulaat) ter bevordering van de vochtopname door middel van materiaal met hoge absorptiewaarde?

Verbeterde grond is eigenlijk voldoende voor zowel de bomen als het gras. Zeker bij dakparken met deze afmetingen. Bij extra droge periodes wordt het vlottersysteem aangezet.

Vraag Kostentechnisch kan dit nogal wat discussie opleveren. Is er een afweging gemaakt tussen gebruik van materialen en budget?

Er kan een afweging worden gemaakt doordat de omvang en de maximale belasting per dak verschillend is. Kleikorrels zijn veel geschikter op ultra lichte dakparken en het dakpark heeft misschien ook een andere functie. Daarnaast eroderen kleikorrels waardoor het niet optimaal meer functioneert. Terwijl je met andere materialen, die goedkoper zijn, hetzelfde effect kan krijgen.

Vraag Wat zijn de kosten voor deze constructieopbouw?

De kosten liggen laag voor dit project. Uiteindelijk betaal je het meest voor je vlottersysteem en je grond. RWS-banden zijn na verhouding niet zo duur.

Vraag Is er nagedacht over beheer? Is er rekening gehouden met bevloeiing na een lange droge periode?

Dit project dient eigenlijk onderhoudsvrij te zijn. Hoe de gemeente zelf het beheer heeft ingericht zullen jullie zelf moeten achterhalen.

Geïnterviewde: Jan van Merriënboer, Beplantingsdeskundige hogeschool van Hall-Larenstein.:

1. Warneer is de verdamping het grootst bij een boom?

Je kunt stellen dat een solitaire boom het meest verdampt. Als je kijkt naar een solitaire bomen zie je dat de wind vrij spel heeft op de boom. Wind is namelijk één van de factoren die de verdamping van boom laat toenemen. Hetzelfde geldt voor de kroondichtheid. Als de kroondichtheid erg groot is, heeft de wind geen vrij spel en zal alleen de boom aanzienlijk minder verdampen. Bij bomen met open kronen is dit veel meer. Daarnaast heb je het aantal zonuren wat een boom krijgt per dag.

2. Dus het sortimentskeus en een aantal factoren zijn bepalend voor de hoeveelheid verdamping?

Zeker, het aantal blad aan de boom bepaald de verdamping + factoren. De bladbezetting wordt uitgedrukt in de L.A.I. (Leaf Area Index). De L.A.I. is het aantal vierkante meters blad per vierkante meter kroonprojectie. De verdamping wordt meestal berekend voor de juiste groeiplaatsinrichting van de boom.

3. Capillariteit van de bodem speelt hierin ook een belangrijke rol?

Als je kijkt naar de capillariteit van je groeimedium kun je bepalen welk sortiment wordt toegepast op je dakpark. Veel/weinig vocht, infiltrerend vermogen etc etc.

4. Is er daarnaast nog een relatie tussen de afname van verdamping en de afname van vocht in de bodem?

Zeker, de afname van vocht kan leiden tot het sluiten van de huidmondjes. Dit betekent dat de verdamping afneemt en dat de ontwikkeling van de boom stil staat. In eerst instantie zal de blad gaan krullen. Daarna zal het blad worden afgestoten (kijk maar naar lindes) en daarnaast stopt de ontwikkeling van de bomen. Het is dus niet zo zeer de vraag of er een aanname is van verdamping, maar wanneer vindt de afname plaats

5. Zijn er nog andere informatiebronnen waar wij informatie vandaan kunnen halen?

In Stadsbomen Vademecum 2A staat een hoop informatie over de verdamping van bomen. Het berekenen van de juiste kroonprojectie kan interessant zijn voor jullie onderzoek

6. En weet jij toevallig nog mensen die meer thuis zijn de berekeningsmethode van vochtverdamping

Ad Olsthoorn is een bosecoloog. Die kan jullie misschien helpen bij het opstellen van een formule die geschikt is voor het berekenen van de verdamping.

Vragenlijst leverancier Optigroen

Vraag 1: Wie bent u en wat is uw functie binnen Optigroen? Welke opleiding heeft u genoten?

Henk Vlijm, Directeur Optigroen Benelux, MBO AOC Midden Nederland Houten

Vraag 2: Zijn er reeds grote projecten uitgevoerd door Optigroen met een permanente waterlaag en capillaire opstuwing?

Ja

Vraag 3: Welke projecten zijn dat? Zijn deze uitgevoerd met kleikorrels of wordt daar ander materiaal voor gebruikt?

Odaparking Sittard, 18.000 m2 capillaire stuwing door kunststof drainagelaag

Binnenhoek Tiel, 12.000 m2 capillaire stuwing door lava 8/16 50 mm dikte

Pothoofd Deventer 1000 m2, capillaire stuwing door lava 8/16 100 mm met vlottersysteem

Vraag 4: Wordt er bij aanleg van een permanente waterlaag rekeninggehouden met de verdamping van de boom? Speelt de hoeveelheid water op de daktuin hierin een grote rol?

Ja en nee, het substraat is een boomsubstraat voor op daken, de drainage-bufferlaag heeft een maximale dikte van 120 mm met een permanente waterstand van 70 mm. Deze wordt aangevuld middels een vlottersysteem, dus de verdamping maakt niet zoveel uit want het vlottersysteem vult het automatisch aan.

Vraag 5: Worden er vlottersystemen toegepast om het leven van de boom te waarborgen? Of worden er ook systemen toegepast zonder vlottersysteem, waarbij het hemelwater en de bodem, de daktuin jaarrond van water voorzien.

Zie vraag 4, altijd een vlottersysteem of een aanvullende beregening. Echter bij Odaparking Sittard is er gebruik gemaakt van enkel hemelwater en indien nodig worden de bomen zomers handmatig voorzien van extra water

Vraag 6: Geven jullie ook feedback op het door de ontwerpers gekozen sortiment? Is er een sortiment wat veelal wordt toegepast?

Ja en nee, dit gaat vaak via onze partnerbedrijven welke dat weer afstemmen met de bomenleveranciers. Die bekijken het ontwerp en geven hiervoor feedback.

Introductie

Wat is uw huidige functie en waar bestaan uw werkzaamheden uit?

Ik ben Wil Tummers. Ik ben beheerder van de bomen in de gemeente Sittard-Geleen

Ontwerp:

Is er rekeninggehouden met het sortiment welke gekozen is voor het dakpark?

Absoluut. Kijkend naar de verdamping van de bomen moet er worden rekening gehouden met de hoeveelheid bladoppervlak. Bij Fraxinus (essen) ligt dit veel hoger als bij Gleditsia (Valse Christusdoorn). Om deze reden hebben wij gekozen voor het aanplanten van Gleditsia op onze dakparken. Daarnaast hebben Gleditsia's minder vlezige wortels. Deze maken een diep en goed wortelgestel.

Beheerfase

Welk bevloeiingssysteem is er toegepast op het dakpark

Er wordt een beregeningssysteem toegepast waarbij het gras wordt bevloeid. De bomen zijn voorzien van een watervoorziening waarbij de kluit handmatig wordt bevloeid met water. Het wat beweegt zich richting de drainagematten en wordt opgeslagen.

Hoeveel liter water geeft het bevloeiingssysteem af?

De hoeveelheid kan ik niet zeggen, omdat wij ons bevloeiingsysteem niet monitoren. Bij een periode van droogte raadplegen wij de KNMI en zal er actie worden ondernomen om het bevloeiingssysteem aan te zetten.

Is het toegepaste bevloeiingssysteem betrouwbaar?

Zo lang de bomen niet doodgaan wel.

Vergt het toegepaste bevloeiingssysteem veel onderhoud?

Eigenlijk hebben wij nog niet zoveel ervaring met het systeem. Dit komt omdat het dakpark pas een aantal jaren ligt. Over een lengte van jaren kunnen wij zeggen of systeem werkelijk voldoet aan de verwachtingen.

Zijn er bomen op het groendak gestorven en wat was de oorzaak?(bv. vernatting, onvoldoende doorwortelbare ruimte etc.)

De bomen zijn niet doodgegaan in de loop der jaren. De constructie is ook zo opgebouwd dat veel water wordt vastgehouden. Substraat met weinig organisch materiaal zorgt voor minder capillaire opstijging. De toplaag van 20cm beschikt over veel organisch materiaal. Hierdoor blijft er organisch materiaal in de bodemopbouw aanwezig mocht er uitspoeling optreden naar de onderlagen. Daarbij is een doorwortelbare ruimte van 100 cm noodzakelijk voor de boom

Geinterviewde dhr. Jitze Kopinga, 28-05-2013, 13:30

Eigenlijk hebben jullie te maken met twee verschijnselen: vernatting en verdroging:

Bij vernatting moet je er voor zorgen dat de pieken geleidelijk worden afgevoerd op je daktuin. Dit wordt vaak gedaan door middel van een drainagestelsel. De vraag blijft dan waar je het water laat, wordt het oppervlakkig afgevoerd of infiltreert het in de bodem?

Ons probleem is niet alleen vernatting, maar ook verdroging op dakparken. Welke factoren hebben het meest invloed op de verdamping?

Bij verdroging heb je te maken met de vochtbehoefte van een boom. Ten aanzien van jullie onderzoek kan ik jullie zeggen dat de verdamping van een boom hetzelfde blijft, ongeacht of de voorraad afneemt. De grootste factor die invloed heeft op de verdamping is de straling. Windsnelheden boven de 2 op de schaal van Beaufort heeft nauwelijks meer invloed op de verdamping.

Is het te berekenen? Er zijn veel formules, maar waar moeten wij vanuit gaan?

Om te berekenen hoeveel de verdamping precies te berekenen, wordt er gebruikt gemaakt van de L.A.I. of te wel de Leaf Area Index. Een Tsjechische onderzoeker heeft voor heel veel boomsoorten de Leaf Area Index bepaald. Er zit namelijk een wezenlijk verschil tussen boomsoorten. Een Aesculus hippocastanum (Witte paardenkastanje) heeft namelijk veel meer bladoppervlak dan een Gleditsia triacanthos(Valse Christusdoorn).

Bij solitaire bomen wordt echter wel een factor van 1,5 er bij toegevoegd vanwege extreme omstandigheden als volledig blootgesteld aan straling, en uitgroei kroonvorm. Interceptieverdamping is eigenlijk niet mee te nemen. Ik zou eerst beginnen met de basis die beschreven staan in de publicaties die ik heb meegegeven.

Vaak zijn deze berekeningen op basis van een optimale vochtvoorraad? Verandert de verdamping niet?

Nee, de verdamping verandert niet. De huidmondjes sluiten wanneer de vochtvoorraad niet meer het gewenste vocht kan leveren. Bij het berekenen zul je dus moeten uitgaan van optimale situaties. Mocht de voorraad opraken, dan zal de boom niet minder gaan verdampen. Tot aan verwelkingspunt blijft de verdamping hetzelfde, daarna zal hij zijn blad gaan krullen, laten vallen en sterven.

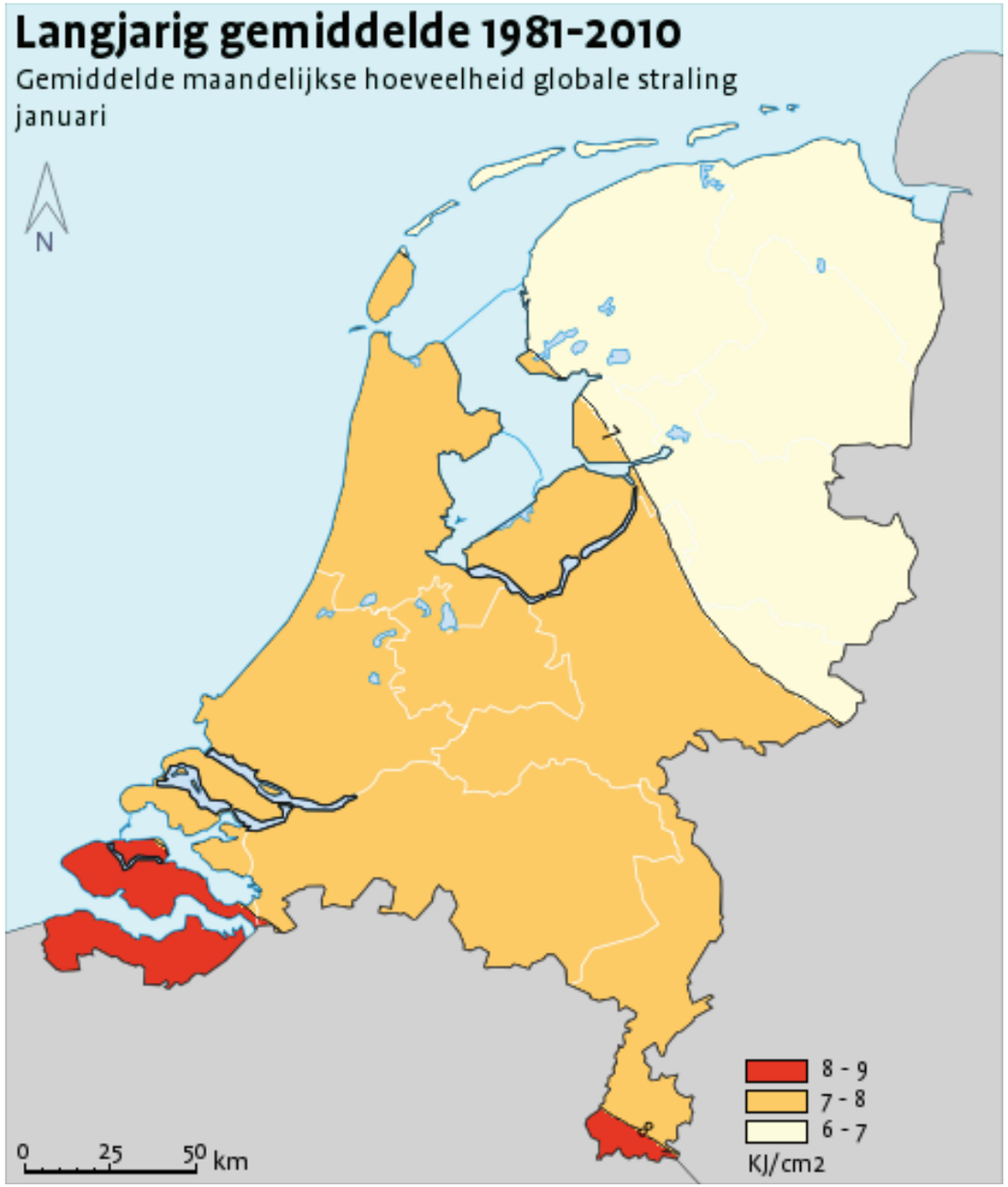
Is de tijdsduur bekend van het punt van sluiten van de huidmondjes tot aan totale verwelking?

De tijdsduur van dit proces niet bekend.

De bodem speelt, in het totaal plaatje, een belangrijke rol?

Bij het aanbrengen van de grondpakketten voor de bodem dient er worden rekening gehouden met de verdichtingsgraad. Bij een te hoge verdichtingsgraad zal er wortelsterfte optreden waardoor de ontwikkeling van de boom stopt en doodgaat. In veel gevallen worden hier substraten voor gebruikt als bomengranulaat en bomenzand. Daarbij moeten de storende lagen en grensvlakken (overgangen). Kijk hierbij ook naar het stikstof gehalte van de grond.

Uitspoeling van voedingselementen kan zorgen voor een verschraling van de bodem. Minerale uitspoeling zorgt voor een mindere van de groeiplaats van bomen. De kans dat het gebeurd in jullie geval kan minimaal zijn, omdat de overstort maar een kleine hoeveelheid water afvoert per piekbui. Dit gebeurd bij voorbeeld bij wisselende grondwaterstanden. Op het moment dat de waterstand daalt, neemt het een deel van een voedingselementen mee. Echter is dit het geval bij een natuurlijke grondwaterstand.

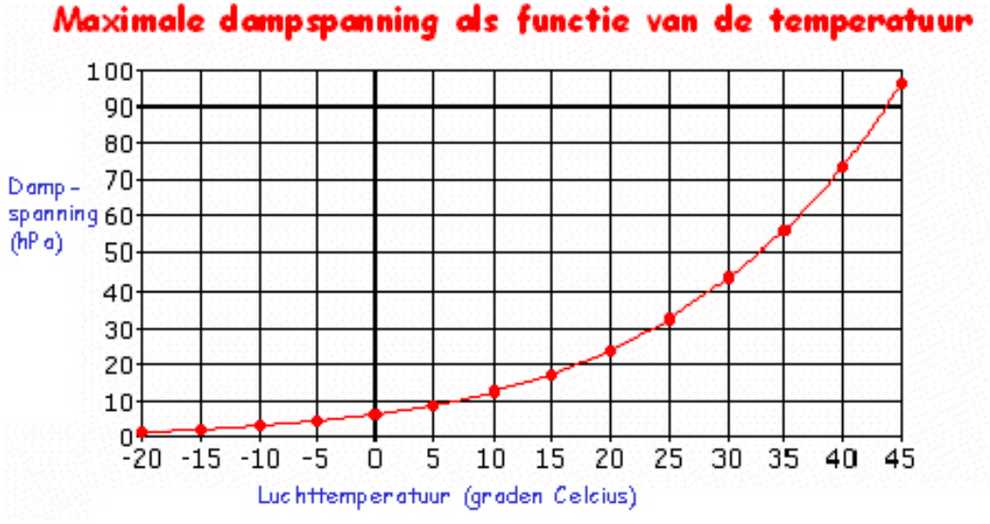


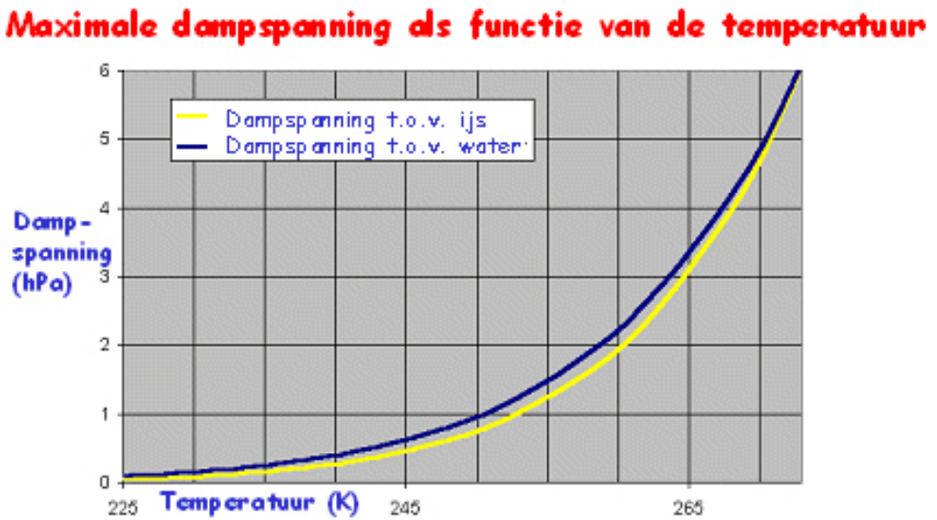
Bijlage VII Stralingskaart

(Bron: KNMI)

De stralingskaart is gebaseerd op een meting na een langjarig onderzoek. De waarden zijn uitgedrukt in Kj/cm2. Voor onze berekening hebben wij dit omgezet naar J/cm2.

7 Kj/cm2 = 7000 j/cm2





Bijlage VIII

Maximale dampspanningscurve

(Bron: Kennislink.nl)

De dampspanningscurve geeft weer hoe snel water verdampt bij een bepaalde temperatuur. Dit is van belang voor het bepalen van de latente (niet gelijk merkbaar) temperatuur.