BOMEN IN OPHOGINGEN

Een adviesrapportage, opgesteld in opdracht van de afdeling Beheer Buitenruimte van Gemeentewerken Rotterdam

Jitze Kopinga

(Centrum Landschap, Alterra Wageningen UR)

-maart 2010-

ALTERRA
WAGENINGEN UR

SAMENVATTING

Het opbrengen van grond (zand, klei veen, teelaarde, etc.) op de door bomen doorwortelde bodemzone is als regel nadelig voor bomen omdat onder andere de bodemluchthuishouding wordt verstoord. Hierbij spelen meerdere aspecten. De belangrijkste is dat door de ophoging het traject van zuurstofdiffusie naar de wortels wordt verlengd, waardoor de dieper gelegen wortels niet meer voldoende zuurstof krijgen en afsterven.
Een tweede effect is dat als gevolg van grondophoging in gronden met een voor boomwortel bereikbaar grondwaterpeil het gemiddelde grondwaterniveau vaak stijgt. Hierdoor komen dieper gelegen wortels permanent onder de met water verzadigde bodemzone te liggen waardoor ze als gevolg van zuurstoftekort afsterven.
Bijkomende effecten zijn vaak toe te schrijven aan de gevolgen van de ophogingswerkzaamheden zelf, die leiden tot structuurbederf van de bodem (bodemverdichting, -verslemping), wat als regel eveneens resulteert in een verslechtering van de bodemluchthuishouding en soms ook een “optrekking”(stijging) van de grondwaterspiegel wat eveneens leidt tot wortelsterfte door zuurstofgebrek.
Grondophogingen leiden in veel gevallen tot conditieverlies van de boom en vermindering van sierwaarde en in sommige gevallen voortijdige uitval.
De reactie van bomen op grondophogingen is enerzijds afhankelijk van de boomsoort en de leeftijd van de bomen en anderzijds van de aard en omvang van de ophoging.
In sommige situaties kunnen, afhankelijk van de groeiplaatscondities, boomsoorteigenschappen, boomvitaliteit en leeftijd, de negatieve effecten van een grondophoging met begeleidende maatregelen tot een aanvaardbaar niveau worden teruggebracht en kunnen bomen voor langere tijd worden gehandhaafd.
Het voorliggend rapport doet daartoe een aantal aanbevelingen en geeft een toelichting op de belangrijkste achterliggende boombiologische en bodemkundige mechanismen.

INHOUDSOPGAVE **pag**

SAMENVATTING 2
VOORWOORD 4
1. INLEIDING 5
1.1. Noodzaak tot ophogen 5
1.2. Gevolgen voor de bomen 5
1.3. Gevolgen voor het beheer 5
1.4. Belang van groen 5
1.5. Overige gevolgen van ophoging bij bomen 6
1.6. Leeswijzer 6
2. DE BETEKENIS VAN DE BODEMLUCHT EN –WATERHUISHOUDING VOOR BOMEN 7
2.1. Zuurstofbehoefte en –transport 7
2.2. Bodemwater en bodemzuurstof 7
2.3. Diffusieweerstand 7
2.4. Overig bodemzuurstofverbruik 7
2.5. Tolerantiemechanismen van bomen 8
3. EFFECT VAN GRONDOPHOGING OP BODEM EN BEWORTELING 10
3.1. Ophooggrond en zuurstofdiffusie 10
3.2. Ophoging en waterhuishouding 12
3.3. Chemische kwaliteit van het ophoogmateriaal 14
3.4. Wel of geen nieuwe wortelvorming 14
3.5. Nazakking van de bodem door invloeden van de boom (gewicht en wateronttrekking). 15
3.5.1. Draagkracht bij normale waterverzadiging van de bodem 15
3.5.2. Draagkracht bij uitdroging van de bodem 16
4. MITIGERENDE (ADAPTIEVE) MAATREGELEN EN AANVULLENDE AANDACHTSPUNTEN 17
4.1. Geen extra maatregelen nodig behoudens aandacht voor de luchtdoorlatendheid van de ophooggrond 17
4.2. Ventilatiesystemen 18
4.3. Drainage 20
4.4. Verplanten of “lichten” van bomen 20
4.5. Bescherming van de stamvoet 20
4.6. Fasering van de ophoging 21
4.7. Tijdstip van ophogingen 21
4.8. Terreinvoorbereiding en kwaliteit van de ophooggrond 21
4.9. Invloed van het type verharding op de bodemluchthuishouding 22
4.10. Gebruik van voor ophoging tolerante boomsoorten 23
4.11. Betekenis van (lekkende) riolen 23
4.12. Bronnering 23
4.13. Schade door hernieuwde wortelgroei (wortelopdruk) 23
4.14. Invloed van het natuurlijke bewortelingspatroon 24
4.15. Bomenzand als ophoogmateriaal 24
5. BESLIS”BOOM” 25
6. BELANGRIJKSTE CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN 26
7. LITERATUUR EN BRONVERMELDING 27
BIJLAGE 1. INDICATIEVE LIJST VOOR DE GEVOELIGHEID VAN BOOMSOORTEN VOOR GRONDOPHOGINGEN 28
BIJLAGE 2. BESLIS”BOOM” BIJ VOORBEREIDING OPHOGINGSWERK-ZAAMHEDEN 30

VOORWOORD

In een groot deel van Rotterdam is de ondergrond onderhevig aan zetting. In combinatie met een relatief hoge grondwaterstand staat hierdoor de ondergrondse groeiruimte voor bomen steeds meer onder druk. Bij nieuwe aanleg wordt gebruik gemaakt van de vigerende Standaard Wegenbouw Details (SWD) en onder andere het Handboek Leidingen waar het gaat om de ordening van ondergrondse kabels en leidingen.
Grondophoging is één van de meest bedreigende activiteiten voor een ongestoorde groei van bomen. Als gevolg van de noodzakelijke regelmatig uitgevoerde grondophogingen blijft de gemiddelde leeftijd die de bomen in zettinggevoelige gronden kunnen bereiken sterk achter bij het landelijk gemiddelde. Dit geldt vooral de bomen in verharde straatprofielen, mede door de met de ophoging gepaarde gaande reconstructiewerkzaamheden zoals het omhoog brengen van de kabels- en leidingentracés en herbestrating van verhardingen.
Ophoging heeft meestal ook gevolgen voor de gemiddelde drooglegging c.q. het niveau van de grondwaterstand en leidt tot vernatting wat in het algemeen ook nadelig uitwerkt voor de conditie en levensverwachting van bomen.
Waar in het ontwerp doelbewust wordt gekozen voor klein blijvende soorten in smalle straatprofielen, die geringe maximale leeftijd kennen van 25 à 30 jaar, wordt veelal geaccepteerd dat bomen tijdens ophogingen worden vervangen. De zorg gaat vooral uit naar bomen in de groene hoofdstructuur waarbij de beoogde gemiddelde te bereiken minimale leeftijd 60 à 80 jaar moet bedragen. In de Stedelijke Bomenstructuurvisie wordt hierop geanticipeerd voor wat betreft de vereiste volumes aan doorwortelbare ruimte en de keuze van boomsoorten die ophogingen beter kunnen verdragen. Daarnaast geven de standaardbestekken van Gemeentewerken (GW) voorschriften ter bescherming van bomen en hun wortels.
In het boombeheer wordt men vaak geconfronteerd met fricties tussen de noodzaak tot ophoging en de wens tot boombehoud. Ook de beschadigingen van verhardingen door het zgn. opdrukken door boomwortels als gevolg van het zakken van het maaiveld is daarbij punt van aandacht.
Bij de diverse afwegingen om bomen te behouden of (voortijdig) te vervangen is het zinvol om te beschikken over gedragsmodellen van boomsoorten in ophoging en vernatting, de wijze waarop door boom en bodemonderzoek de gevolgen beter in kaart kunnen worden gebracht en kennis over de toepasbaarheid en effectiviteit van begeleidende maatregelen zoals speciale substraten, bodemventilatiesystemen, ontwateringsystemen en het verplanten of “lichten” (omhoog brengen) van bomen.
Voor een indicatie van door bomen maximaal getolereerde ophogingen en grondwaterstandwijziging en de inzet van mitigerende maatregelen is in 1997 het rapport “Verplantbaarheid van en ophoging bij bomen” opgesteld door Gemeentewerken Rotterdam (GW).
Dit rapport werd op sommige aspecten al enige tijd als verouderd c.q. achterhaald ervaren en er was behoefte om het onderdeel om het rapport op het onderdeel “ophoging” te actualiseren en de richtlijnen en mitigerende maatregelen rond bomen in ophogingen, op basis van de meest recente inzichten te herijken.

1. INLEIDING

1.1. Noodzaak tot ophogen

Bodemzakking is een typisch fenomeen op de veen en klei bevattende gronden in het westen van het land en de daarin gelegen steden en woonkernen, zoals Rotterdam (Noord).
Als gevolg van de zgn. inklinking van het veen zakt de bodem en de daarop liggende wegen en beplantingen ten opzichte van overige structuren zoals onderheide –en dus niet zakkende- bebouwing, kunstwerken (o.a. bruggen) en riolen. Om de optredende verzakkingverschillen niet te groot te laten worden, worden wegen regelmatig "geherprofileerd" waarbij het niveau van het wegdek inclusief de bermen en trottoirs en ondergrondse infrastructuur omhoog worden gebracht door het opbrengen van een laag (cunet)zand of andersoortige ophooggrond.
Zodoende vindt ook regelmatig grondophoging plaats bij bomen die met de inklinkende grond meezakken.

1.2. Gevolgen voor de bomen

Als regel doorstaan bomen een ophoging slecht. D.w.z. dat ze doorgaans reageren met een teruggang van de conditie en soms zelfs sterfte. Bomen waarbij regelmatig ophogingen plaatsvinden hebben als regel een verkorte levensduur en moeten vaak voortijdig worden vervangen.

1.3. Gevolgen voor het beheer

Voor de beheerder is het lastig om op deze locaties en duurzame bomenstructuur te handhaven. Bovendien betekent het voortijdig vervangen van een boombeplanting per definitie een verhoogde kostenpost. En ook wanneer de bomen eventueel als grote boom nog (tijdelijk) kunnen worden verplant of omhooggetild ("gelicht") en nadien weer kunnen worden hergebruikt blijft dit een kostbare exercitie die bovendien vrijwel altijd een conditieachteruitgang van de boom tot gevolg heeft.
Ook vergen bomen waarbij regelmatig is opgehoogd extra aandacht vanwege een verhoogde kans op het ontstaan van gebreken die de stabiliteit –en daarmee ook de veiligheid- van de boom beïnvloeden.

1.4. Belang van groen

Met name in gebieden met relatief weinig bomen hebben boombeplantingen, en met name bomenrijen een belangrijke landschappelijke en ecologische functie. Het gaat daarbij doorgaans om grote bomen (d.w.z. bomen van eerste, soms tweede grootte) die voor langere tijd de "dragers" moeten zijn van een groene hoofdstructuur en de verbindingen vormen tussen deze structuren onderling en met die van de buitenruimte c.q. het landschap. Voor een optimale functievervulling moeten juist deze bomen voor een langere tijd gehandhaafd kunnen blijven. Op locaties waar regelmatig grondophogingen plaatsvinden is dat een bijna ondoenlijke zaak, ook omdat de kwetsbaarheid voor de gevolgen van een grondophoging doorgaans toeneemt naarmate de bomen ouder worden.

1.5. Overige gevolgen van ophoging bij bomen

De mate waarin bomen ophogingen verdragen heeft te maken met zowel de aard en omvang van de ophoging als met de boomsoort en de leeftijd van de boom. Een aantal boomsoorten zal een ophoging trachten te overleven door zo snel mogelijk nieuwe wortels te vormen op “nieuwe” plaatsen, waardoor ook op oudere leeftijd bomen soms nog schade zoals wortelopdruk kunnen geven op plaatsen waar dat voorheen niet het geval was. Dit fenomeen is echter niet voor ieder boomsoort en omstandigheid van toepassing.

1.6. Leeswijzer

In de hierna volgende Hoofdstukken en paragrafen wordt achtereenvolgens in gegaan op de betekenis van de bodemluchthuishouding voor de bomen en –daarmee verband houdend- de waterhuishouding van de bodem. Vervolgens wordt uiteengezet welke negatieve veranderingen er daarin kunnen optreden door grondophoging en hoe deze veranderingen kunnen worden geminimaliseerd met en aantal mitigerende maatregelen. De hoofdlijnen daarvan de richtlijnen die op basis daarvan kunnen worden gegeven zijn als slot samengevat in een zgn. beslismodel.
Deze notitie heeft niet als doel om een uitgebreid overzicht te geven van alle relevante literatuur op dit gebied. De literatuurverwijzingen zijn beperkt tot noodzakelijke (ter verantwoording van bijvoorbeeld citaten of de zeer relevante of lezenswaardige informatie. Omwille van de leesbaarheid zijn die niet in de tekst verwerkt, maar als voetnoten onder aan de pagina’s aangegeven.

2. DE BETEKENIS VAN DE BODEMLUCHT EN –WATERHUISHOUDING VOOR BOMEN

2.1. Zuurstofbehoefte en -transport

Bij diverse energievergende processen in de boom worden suikers verbrand. De hiervoor benodigde zuurstof komt uit de buitenlucht. Bij boomwortels is dat de bodemlucht in de holtes (micro- en macroporiën) tussen de vaste bodembestanddelen. De verbruikte bodemzuurstof wordt continu vanuit de buitenlucht aangevuld met zuurstof door diffusie. Dit is een natuurkundig proces waarbij gassen zich verplaatsen of onderling mengen door moleculaire beweging.
De mate waarin zuurstof door diffusie wordt getransporteerd (snelheid en hoeveelheid) is afhankelijk van het concentratieverschil, de diffusieweerstand van de bodem en de lengte waarover het transport plaats vindt.
Deze factoren bepalen gezamenlijk de diepte waarop nog voldoende zuurstof in de bodem diffundeert om in de zuurstofbehoefte van boomwortel, inclusief het aan de beworteling verbonden bodemleven, te voorzien. Beneden deze diepte kunnen de wortels van de meeste bomen niet meer functioneren en worden er geen wortels meer gevormd. De zuurstofdiffusie-eigenschappen van een bodem zijn zodoende bepalend voor de bewortelingsdiepte.

2.2. Bodemwater en bodemzuurstof

In poriën die geheel met water zijn gevuld kan geen zuurstofdiffusie plaatsvinden. Dit is reden dat boomwortels zich als regel niet dieper ontwikkelen dan het laagste niveau van de grondwaterstand en dat bij permanente verhoging van de grondwaterstand levende wortels van zuurstof verstoken blijven en vervolgens afsterven.

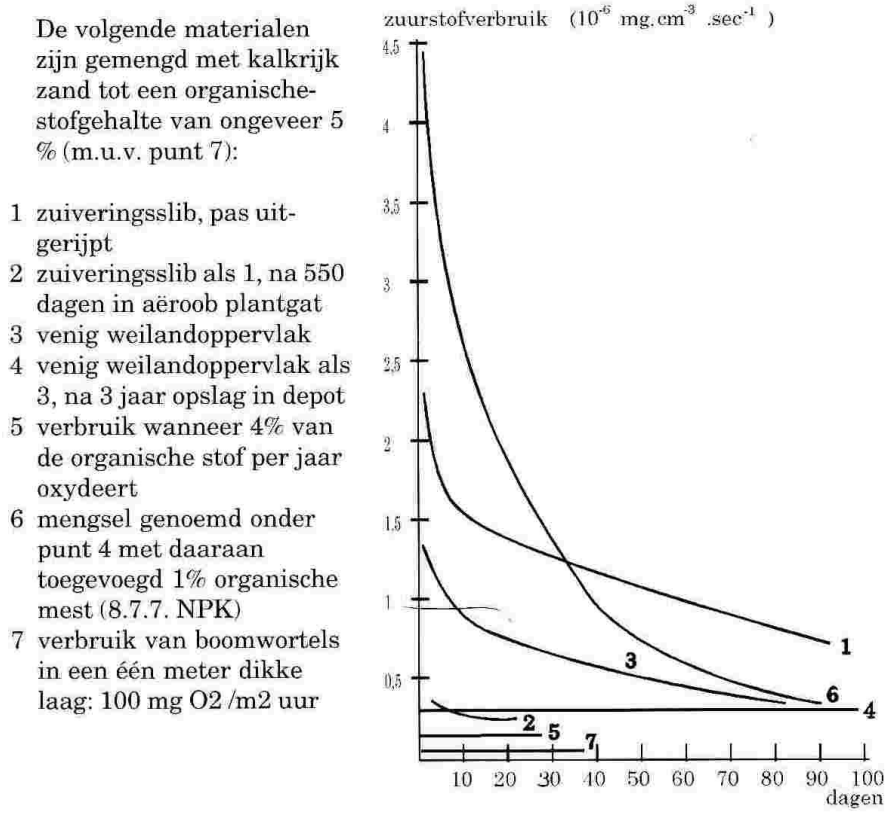
2.3. Diffusieweerstand

Het poriënvolume en daarvan het aandeel (deels) met lucht gevulde poriën zijn bepalend voor de diffusieweerstand. Een grofkorrelige, niet verdicht zandgrond heeft een diffusieweerstand (W) voor zuurstof van ca. 2500 sec/cm en is daarmee in principe tot vele meters diepte doorwortelbaar. Fijn zandige zavels en gerijpte humeuze klei hebben een diffusieweerstand van 13.000 à 15.000 sec/cm en de beworteling is daarmee vaak beperkt tot 1 à 1,5 m diepte. Overigens is een grond vaak gelaagd en soms voorzien van een verharding. Als regel is de laag met de grootse diffusieweerstand bepalend voor de totale hoeveelheid zuurstof die tot een bepaalde diepte kan doordringen. Zo kan de aanwezigheid van een asfaltlaag (W > 1.000.000 sec/cm) maken dat er geheel geen zuurstof in de bodem doordringt. Ook onder een dicht bestrate verharding met grote tegels (60x40x7 cm) is de diffusieweerstand zo hoog (W = 100.000 sec/cm) dat er slechts “mondjesmaat” zuurstof door de voegen kan diffunderen en geheel niet meer wanneer de poriën in het voegenzand vrijwel continu met water verzadigd zijn.

2.4. Overig bodemzuurstofverbruik

Boomwortels zijn niet de enige die bodemlucht verbruiken. Er zijn meerdere processen die bodemzuurstof consumeren. Veel daarvan hebben te maken met de afbraak van organische stof. Bepalende voor de hoeveelheid zuurstof die daarbij

wordt gebruikt is de “versheid” van het organische materiaal. Zo valt uit figuur 1 op te maken dat de vertering van verse teelaarde van een venig weiland aanmerkelijk meer zuurstof vergt dan de verdere afbraak van reeds 2 jaar gerijpte teelaarde van hetzelfde weiland en dat dit op zijn beurt nog enige malen meer is dan het verbruik van boomwortels.



Figuur 1. Zuurstofverbruik bij afbraak in de bodem van divers typen organische stof. (Bron Atsma & in ’t Velt. 1999).

Omdat de aanvoer door middel van diffusie gelimiteerd is zal bij meerdere zuurstof consumerende processen in de bodem de hoeveelheid die voor de boomwortels beschikbaar is minder worden.
Wanneer het zuurstofgehalte van de bodemlucht daalt beneden 10 à 12 % dan treden er doorgaans al storingen op in de normale wortelfuncties en bij langdurige afwezigheid van zuurstof gaan wortels afsterven. Wortels zelf zijn niet in staat om het bodemzuurstofgehalte verder omlaag te brengen dan 10 à 12 %, maar door vertering van organisch materiaal kan het bodemzuurstofgehalte dalen tot 0 %. Bij langdurige zuurstofloosheid kunnen op den duur chemische reductieprocessen in de bodem optreden wat zich in een zandgrond vaak uit in een kleurverandering van geelbruin naar blauwgrijs.

2.5. Tolerantiemechanismen van bomen

Niet alle bomen reageren op vergelijkbare wijze op een grondophoging. Sommige soorten doorstaan een ophoging zonder al teveel “moeite” terwijl andere soorten aan de gevolgen van dezelfde ophoging ten gronde gaan. Ook de snelheid van sterfte is daarbij verschillend. De tolerantie voor een ophoging heeft vooral te maken met het

vermogen om tijdelijke bodemzuurstoftekorten te overleven, in het Engels aangeduid als “flooding tolerance”.
Als regel zijn de boomsoorten die van nature voorkomen op overslaggebieden langs rivieren (populier, wilg, els) relatief tolerant en zijn soorten die van nature voorkomen op de hogere gronden gemiddeld genomen meer gevoelig. Hierop zijn echter uitzonderingen.
Ook de tolerantiemechanismen zijn verschillend. Sommige boomsoorten schakelen in hun biochemische processen (citroenzuurcyclus) voor de energieomzetting in de wortels over op een ander wijze van verbranding van suikers (gisting in plaats van verbranding), waardoor de wortels tóch in leven kunnen blijven. Soms worden er aparte wortels gevormd die dit vermogen hebben.
Niet alle bomen kunnen zich echter niet op deze wijze aanpassen en bij bomen die het wel kunnen is het rendement zo laag dat het altijd resulteert in een slechtere groei.
Ook hebben bomen soms morfologische aanpassingen, zoals aerenchym, dat al in de boom aanwezig is of (extra) wordt gevormd wanneer de boom te maken krijgt met bodemzuurstoftekorten. Aerenchym is een celweefsel met grote intercellulaire holten waardoor zuurstof in de boom van bovengrondse naar ondergrondse delen kan diffunderen. In Nederland zijn echter geen bomen met een zodanige hoeveelheid aerenchym dat de boom permanent in een zuurstofloze bodem kan staan.
Ondanks de diverse aanpassingsmechanismen van bomen zijn er in Nederland geen bomen die zich op een permanent zuurstofloos geworden bodem kunnen handhaven.

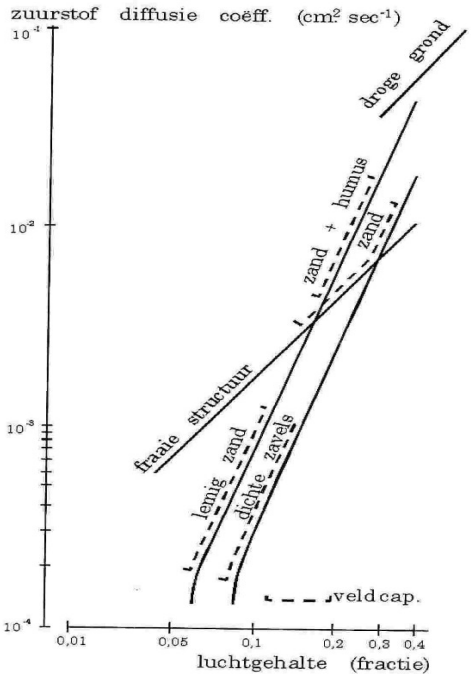
De overlevingskansen van bomen na ophoging zijn in belangrijke mate terug te voeren tot het vermogen (en de gelegenheid i.v.m. bodemgesteldheid!) nieuwe wortels te vormen in combinatie met de reeds genoemde flooding tolerance. Op basis van deze gegevens valt een lijst op te stellen van soorten die bij voorkeur kunnen worden gebruikt in situaties waar regelmatig moet worden opgehoogd. Zie daarvoor bijlage 1.
Veel gegevens zijn ontleend aan onderzoeksliteratuur van veldwaarnemingen, maar ook aan potproeven. Het gaat daarbij als regel om jonge bomen.
Omdat nieuwe wortelvorming als regel minder goed verloopt naarmate de bomen ouder (en groter zijn) zijn gegevens van potproven niet altijd overdraagbaar op oudere bomen, maar zijn nog wel waardevol als indicatie (en niet meer dan dat).

3. EFFECT VAN GRONDOPHOGING OP BODEM EN BEWORTELING

In hoofdstuk 2 zijn op hoofdlijnen reeds enige effecten besproken. Een aantal daarvan wordt hier nader uiteengezet en daarnaast worden enkele aspecten belicht die tevens van belang zijn bij het uitvoeren van grondophogingen bij bomen.

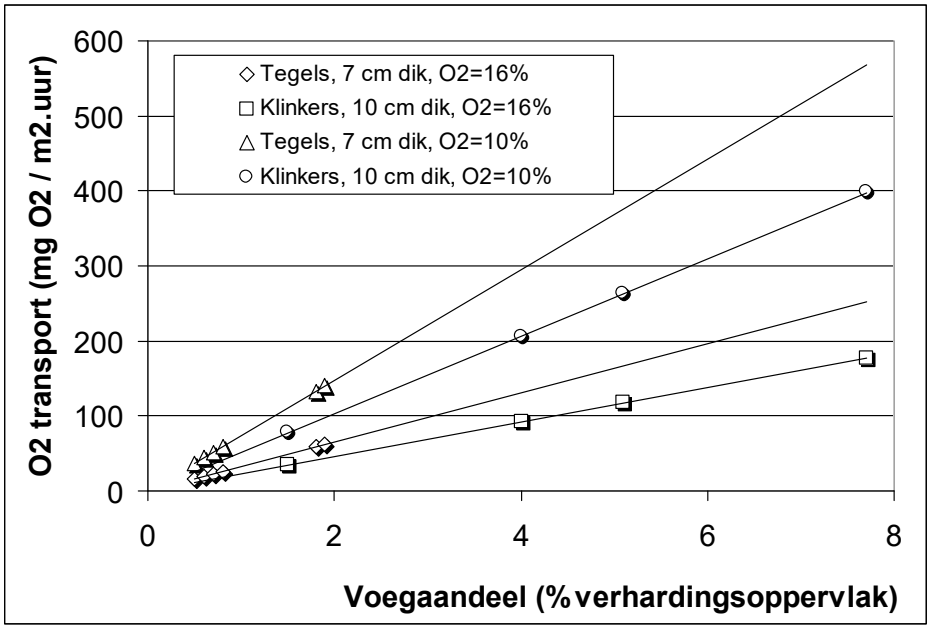
3.1. Ophooggrond en zuurstofdiffusie

Het verloop van zuurstofdiffusie is afhankelijk van de aanwezigheid van voldoende luchtgevulde poriën in de bodem. Beneden een bepaalde waarde –dit verschilt per grondsoort- vindt nauwelijks meer zuurstofdiffusie plaats. De keuze van het materiaal waarmee wordt opgehoogd is derhalve bepalend voor de vermindering van de hoeveelheid zuurstof die na ophoging de dieper gelegen wortels nog kan bereiken. Ophoging met zware grond met weinig poriën heeft bij gelijke laagdikte, doorgaans een veel groter effect dan een ophoging met lichte grond met relatief veel poriën. Dit is echter ook afhankelijk van de structuur van de grond. In een gestructureerde kleigrond is bij een met lucht gevuld poriënvolume van 10 volumeprocent nog voldoende zuurstofdiffusie naar de ondergrond mogelijk. Wanneer in die kleigrond ook nog grote doorlopende poriën en gangen zitten, dan kan bij 5 % luchtgevulde poriën al voldoende zuurstofdiffusie plaatsvinden. In gemengde gronden, zonder gangen en scheuren treedt pas zuurstofdiffusie op vanaf een poriënvolume van 8 à 10 %.
Voor een structuurloze zandgrond (lees: het standaard ophoogzand) is de praktische ondergrens ca. 20 % poriën volume. Zandmengsels moeten in het voorjaar ca. 15 % luchtgevulde poriën bevatten en in de zomer bij voorkeur 20 à 25 %.
De zuurstofdoorlatendheid van materialen waaronder gronden wordt doorgaans uitgedrukt in zuurstofdiffusiecoëfficiënt: $D(O_2)$. In figuur 2 is aangegeven hoe de diffusiecoëfficiënt zich verhoudt tot het aandeel luchtgevulde poriën in een bodem.

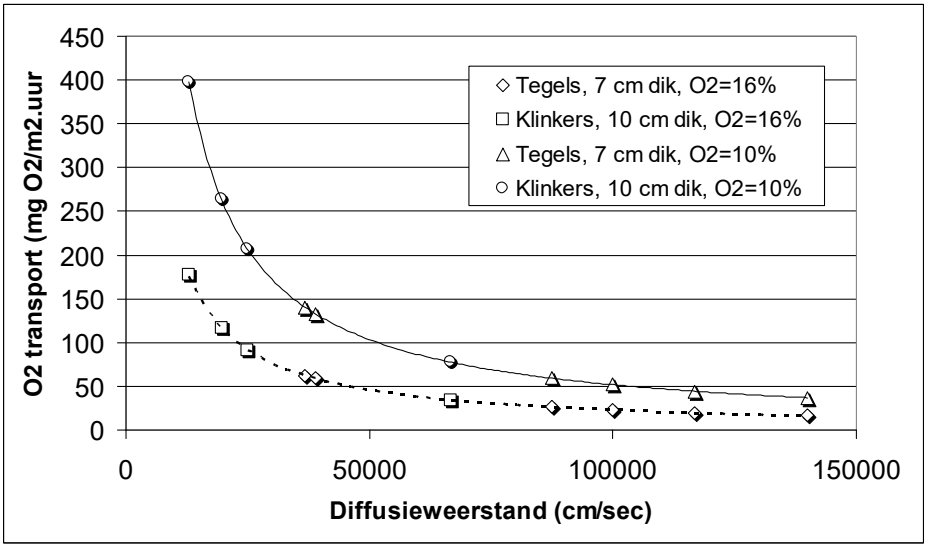


Figuur 2. De afhankelijkheid van zuurstofdiffusie van het aandeel luchtgevulde poriën in verschillende gronden (Bron: Atmsa & in 't Velt, 1999).

Met een toenemend gehalte aan open poriën vermeerdert het zuurstoftransport, maar dit is per grondsoort verschillend.
Invloeden die het poriënvolume van een grond verkleinen verminderen ook het luchtgehalte. Dit betekent voor de praktijk dat wanneer er door berijden de toplaag bovengrond wordt verdicht, waarbij het poriënvolume verminderd en de diffusieweerstand stijgt, de toplaag bepalend kan worden voor de diepte waarop nog zuurstof kan doordringen.
Ook door versmering (verslemping) van de toplaag waarbij de fijnere gronddeeltjes in de poriën tussen de grover gronddeeltjes gaan zitten wordt het poriënvolume van die toplaag beduidend minder en kan de diffusieweerstand het karakter krijgen van een asfaltlaag (die geheel geen lucht doorlaat).
De meeste verhardingsmaterialen hebben poriënvolumes die geen zuurstofdiffusie toelaten en het transport van zuurstof naar de ondergrond vindt uitsluiten plaats via de (met zand gevuld) voegen tussen de verhardingselementen. Hoe breder de voegen, des te beter is de zuurstofdiffusie naar de ondergrond. Dit wordt geïllustreerd in de figuren 3 en 4. Voor de praktijk betekent dit de keuze van het verhardingsmateriaal en de wijze van bestraten op zich ook een substantiële invloed kan hebben op de bodemluchthuishouding nadat er is opgehoogd (zie tevens punt 4.5.).



Figuur 3. Invloed van de voegaandeel (afhankelijk van de wijze van bestraten) en de diepte van de voeg (afhankelijk van de dikte van het verhardingselement) op de toename van het zuurstoftransport door tegel- en klinkerverhardingen met daaronder een zuurstofgehalte in de bodemlucht van resp. 10 en 16%. (Bron: Kopinga, 1997).

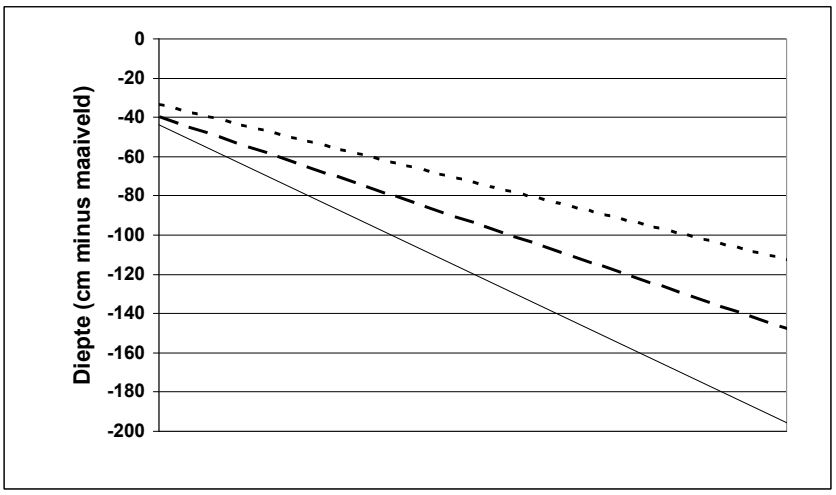


Figuur 4. Invloed van de diffusieweerstand op het zuurstoftransport door een aantal veel voorkomende verhardingstypen met daaronder een zuurstofgehalte in de bodemlucht van resp. 10 en 16%. (Bron: Kopinga, 1997).

3.2. Ophoging en waterhuishouding

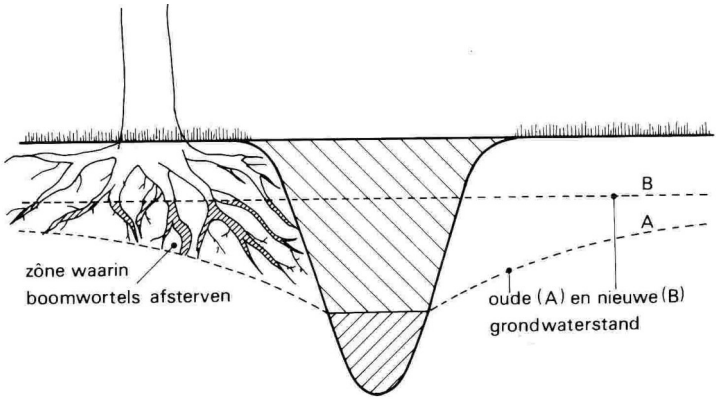
Alleen al door het zakken van de bodem –met de daarop staande bomen- stijgt vaak het grondwaterniveau ten opzicht van het maaiveld. Afhankelijk van de omvang en de aard van een ophoging kan ook door verandering van de zgn. opbolling plaatselijk het grondwater nog extra stijgen. Ook kan door verdichting van de ondergrond (door berijden) het poriënvolume van de ondergrond verminderen waardoor de 'sponswerking" van deze bodemzone groter wordt en hoogte van de volcapillaire bodemzone stijgt.
Het is niet altijd mogelijk en soms zelfs niet wenselijk om door middel van cultuurtechnische voorzieningen de (relatieve) stijging van het grondwater op grote schaal tegen te gaan. Wél kan in incidentele gevallen, bijvoorbeeld waar het gaat om bijzonder waardevolle bomen worden bekeken of detailontwatering (die zich beperkt tot alleen de groeiplaats van de afzonderlijke bomen) een realistische oplossing biedt. Het gaat dan echter om "maatwerk" dat moet worden afgestemd op overige factoren zoals de vraag of men het overtollige water op een makkelijke manier kwijt kan of dat men het continu moet gaan wegpompen (met de daaraan verboden technische en organisatorische kwetsbaarheid).

Overigens kunnen bomen wel enige mate van "vernatting" verdragen zonder daarvan al te veel problemen te ondervinden. Dit heeft te maken met de natuurlijke "flooding tolorance" en de leeftijd (zie hoofdstuk 2.5.). Maar ook met de oorspronkelijke diepte van het laagste gemiddelde grondwaterpeil (GLG) en de verdeling van de beworteling over de diepte zijn bepalend. Uitgaande van een homogene verdeling van de beworteling kunnen zowel tolerante als gevoelige bomen op een bodem met een hoge GLG veel minder stijging verdragen dan bomen op een grond met een lage GLG (zie figuur 5).



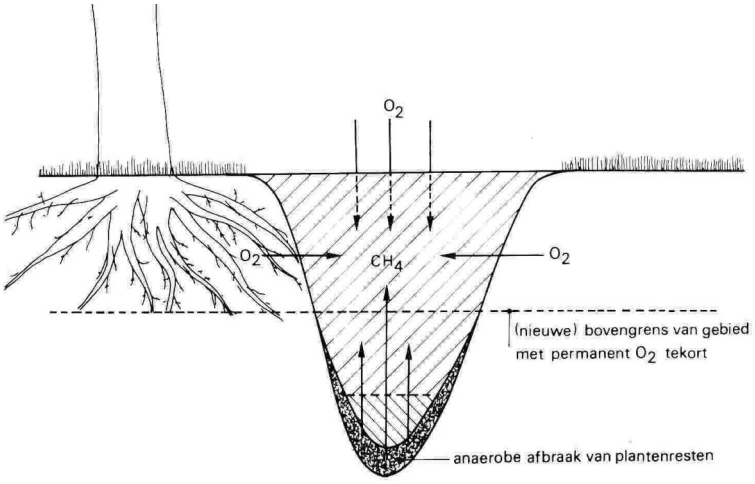
Figuur 5. Toelaatbare stijging van de GLG voor bomen die tolerant zijn (bovenste lijn) en gevoelig zijn (middelste lijn) voor vernatting. (Bron: Kopinga, 2009). De onderste lijn geeft de diepte van de GLG weer. De toelaatbare stijging bij een bepaalde diepte van de GLG is het hoogteverschil tussen de onderste lijn en de stippellijn (voor de tolerante soorten) of de onderbroken lijn (voor de gevoelige soorten).

Een verhaal apart vormen situaties waarbij sloten worden verlegd of gedempt. Dit heeft vrijwel altijd invloed op het grondwaterpeil dat op de plek van de gedempte sloot als regel stijgt (zie figuur 6).



Figuur 6. Het effect van het dempen van een sloot in gebieden met een permanent hoge grondwaterstand (Bron Kopinga, 1981).

Oude verse slootrandvegetatie komt hierbij continu onder water te liggen en kan na enige tijd methaangas vormen, evenals met het reeds aanwezige organische materiaal op de slootbodem het geval is. Het vrijkomende methaangas stijgt naar de bovengrond waarin zich nog levende wortels bevinden en wordt daar afgebroken door methaanbacteriën. Dit is een zuurstofconsumerend proces dat een extra aanslag doet op de voorraad zuurstof in de bodemlucht (zie figuur 7).



Figuur 7. Zuurstofconsumptie door de microbiële omzetting van moerasgas dat zich op grotere diepte heeft gevormd bij de anaerobe afbraak van organisch materiaal. (Bron: Kopinga 1981).

3.3 Chemische kwaliteit van het ophoogmateriaal

Afhankelijk van de vraag in hoeverre de nieuw opgebracht toplaag geschikt moet zijn voor wortelontwikkeling kunnen eisen worden gesteld aan de zuurgraad, het gehalte aan minerale bestanddelen en organische stof van de ophooggrond. Voor "wegenzand" dat moet dienen als wegcunet is dit niet relevant, maar hier dient nog wél aandacht te worden besteed aan het zoutgehalte (NaCl) van de grond. Zout spoelt in de loop der tijd uit en gebruik van zout zand onder wegverhardingen waar nog levende wortels zitten (trottoirs, parkeerplaatsen) kan zoutschade veroorzaken aan de bomen.

3.4. Wel of geen nieuwe wortelvorming

Er kunnen redenen zijn om nieuwe wortelvorming in de opgebracht toplaag niet te stimuleren (o.a. tegengaan van wortelopdruk van verhardingen), wanneer de omstandigheden dat toelaten c.q. wanneer er na ophoging nog voldoende doorwortelbare ruimte voor de boom overblijft in de oorspronkelijke bodem.
Om dit laatste vast te stellen zou eerst aan de hand van een kartering van de beworteling moeten worden vastgesteld of de huidige geldende normen voor de minimale omvang van de beworteling van een stadsboom worden gehaald. Als vuistregel daarvoor geldt dat er per m^2 kroonprojectie van een boom ca 3/4 m^3 aan doorwortelbare ruimte beschikbaar moet zijn. In gronden met voor boomwortels bereikbaar grondwater kan met minder ruimte worden volstaan, afhankelijk van ondermeer de hoogteligging van het grondwater, het boomtype en het plantgatsubstraat. Voor Rotterdam zijn voor bestaande bomen van verschillende grootte een aantal modelsituaties c.q. voorbeeldbladen gegeven in de Standaard Wegenbouw Details van de Gemeente Rotterdam[1].
Wanneer blijkt dat de normen niet worden gehaald –en dat zal vaak het geval zijn- kan beter worden besloten om de nieuw opgebrachte grond waar mogelijk

[1] Gemeente Rotterdam, 2005

doorwortelbaar te maken en te houden (o.a. door mechanische verdichting tegen te gaan). Voor het tegengaan van wortelontwikkeling in ongewenste richtingen bestaan vandaag aan de dag meerdere effectieve methoden.
Niet alleen voor een voldoende voorziening van vocht en voedingselementen heeft een boom een minimale hoeveelheid doorwortelbare ruimte nodig, maar ook voor voldoende stabiliteit. In het algemeen ontleend de boom die aan een voldoende diep en tevens uitgestrekt bewortelingspatroon. Naarmate de diepte beperkter is en/of naarmate er meer dieper liggende wortels als gevolg van een ophoging afsterven zal de boom meer afhankelijk worden van een voldoende uitgestrektheid van de beworteling.

3.5. Nazakking van de bodem door invloeden van de boom (gewicht en wateronttrekking).

De vraag wordt wel eens gesteld of er bij bomen relatief meer moet worden opgehoogd om de toekomstige effecten van extra nazakking ter plekke van de boom te compenseren. Hierin zijn twee aspecten te onderscheiden 1. Extra zakking door het eigengewicht van de boom en 2. extra zakking a.g.v. wateronttrekking door de boom.

3.5.1. Draagkracht bij normale waterverzadiging van de bodem

Het eerste heeft te maken met de draagkracht van de onderliggende bodem bij vrijwel continue waterverzadiging. Over hoe de bodem enkel door het gewicht van een boom wordt belast en hoe dit zich “vertaald” in een extra zakking is zeer weinig bekend. Het is een nogal complexe materie waarbij niet alleen rekening moet worden gehouden met het statische gewicht, maar ook met veranderingen daarin als gevolg van windkrachten. Daarbij is zowel het statische als het dynamische gewicht van een boom afhankelijk van de ouderdom en habitus van de boom en –niet in de laatste plaats- van het daarbij behorende oppervlakte van de wortelprojectie en het gedeelte daarvan dat nog mechanische bijdraagt aan een verspreiding van de druk op de onderliggende bodem. Deze zal op slappe en natte gronden in het vrij veld vaak aanmerkelijk meer bedragen dan de kroonprojectie omdat de boom door het ondiepe grondwater a.h.w. gedwongen is om de benodigde doorwortelbare ruimte vooral in zijwaartse richting te zoeken. In de stad, waar soms de doorwortelbare ruimte beperkt is, ook in zijwaartse richting, kan dat uiteraard anders zijn.
Een globale rekensom, bedoeld als vingeroefening (en niet meer dan dat), geeft een idee van de orde van grootte voor bomen in het vrije veld. We gaan daarbij uit van een boom met een inhoud van 5 m^3 houtmassa met een natgewicht van 1 kg/dm^3 en een kroonprojectie van 100 m^2. We stellen dat de druk wordt verdeeld over een wortelprojectie die gelijk is aan de kroonprojectie (= 100 m^2). We hebben dan te maken met 5000 kg die over 100m^2 wordt verdeeld. Dit geeft een statische belasting van 50 kg per m^2.
Teelaarde heeft na geringe verdichting een droog volumegewicht van 1,2 – 1,3 kg/dm^3.
Een decimeter dikke laag teelaarde belast de bodem met een gewicht van ca. 125 kg/m^2.
Het eigengewicht van de boom is dan vergelijkbaar met dat van een laag teelaarde van ca 5 cm dikte. Dit is slechts een fractie van de laagdikte waarmee normaliter bij grondophogingen wordt gewerkt. Het opbrengen van een extra dikke laag

ophooggrond op de wortelprojectie van bomen zou dan in theorie zelfs eerder kunnen leiden tot extra zakking (“inklinken”) dan wanneer men dit achterwege laat.

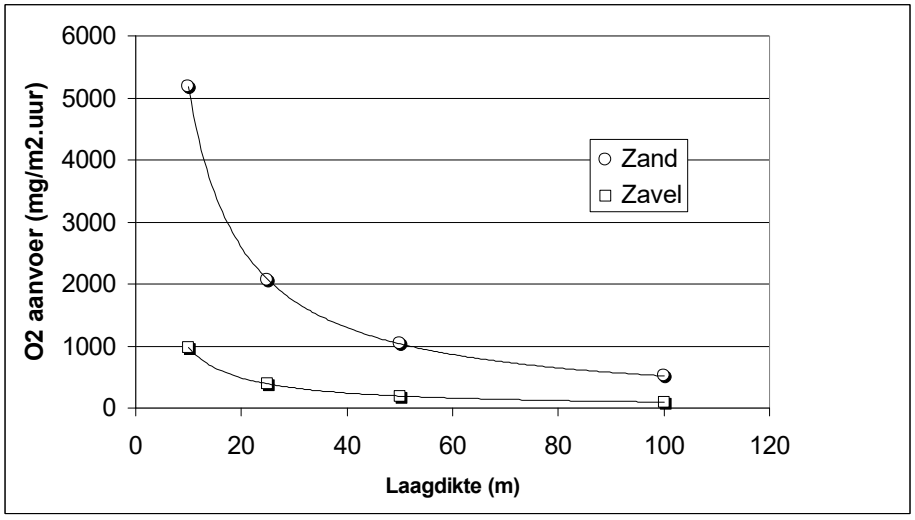
3.5.2. Draagkracht bij uitdroging van de bodem

Van klei- en veen bevattende bodems is bekend dat ze kunnen krimpen als gevolg van waterverlies door directe verdamping vanaf de bodem of wateronttrekking door (de verdamping van) vegetatie van met name bomen. Dit leidt tot lineaire zakkingen (“klink”) die kunnen oplopen tot 15 à 18 cm/m, afhankelijk van het type klei en de vochtdoorlatendheid van de bodem. Wanneer de verdamping van de boom stopt en de bodem weer nat wordt neemt de bodem weer vocht op waarbij het zwelt tot (bijna) het oorspronkelijke volume. Doordat bij uitdroging de kleideeltjes dichter bijeen komen te zitten –en minder langs elkaar heen “glijden”- neemt de draagkracht van een klei-veengrond bij uitdroging in principe eerder toe dan af en komt de stabiliteit van de boom er niet door in gevaar.
Een reëel probleem dat wél kan ontstaan is dat boomwortels door hun vochtonttrekking plaatselijk zettingsverschillen van de bodem veroorzaken waardoor soms schade optreedt aan op staal gefundeerde gebouwen. In gebieden waar gebouwen doorgaans, zo niet uitsluitend, op palen zijn gefundeerd zal dat probleem van minder betekenis zijn.
Overigens is het in algemene zin belangrijk om voorzichtig te zijn met het (laten) uitdrogen van klei-veen bodems omdat er soms onomkeerbare klink kan optreden. Dit gebeurt ondermeer wanneer door zuurstoftoetreding veen gaat oxideren (en in volume afneemt).

4. MITIGERENDE (ADAPTIEVE) MAATREGELEN EN AANVULLENDE AANDACHTSPUNTEN

4.1. Geen extra maatregelen nodig, behoudens aandacht voor de luchtdoorlatendheid van de ophooggrond.

Niet altijd zijn maatregelen nodig om te voorkomen dat dieper gelegen boomwortels afsterven door zuurstofgebrek. In bodems waar de diepte van het grondwater bepalend is voor de bewortelingsdiepte kan afhankelijk van de grondsoort de neerwaartse diffusie van zuurstof tot aan de diepste beworteling meer zijn dan de wortels verbruiken. Vooropgesteld dat het grondwaterpeil door ophoging niet stijgt zou er met het opbrengen van een toplaag, mits voldoende doorlatend, nog steeds voldoende zuurstof kunnen diffunderen. Zo valt uit figuur 8 af te leiden dat in een zandgrond waar het grondwaterniveau op 60 cm diepte zit er na een grondophoging (met zand) van 40 cm de zuurstofaanvoer tot aan het grondwaterniveau daalt van ca. 900 naar 500 mg/m^2.uur. Dit is nog ruim toereikend om het normale zuurstofverbruik van boomwortels (100 à 200 mg/m^2.uur) te dekken.



Figuur 8: De hoeveelheid zuurstof die tot verschillende dieptes per tijdseenheid naar de diepte toe diffundeert in een zandgrond en een zavelgrond.

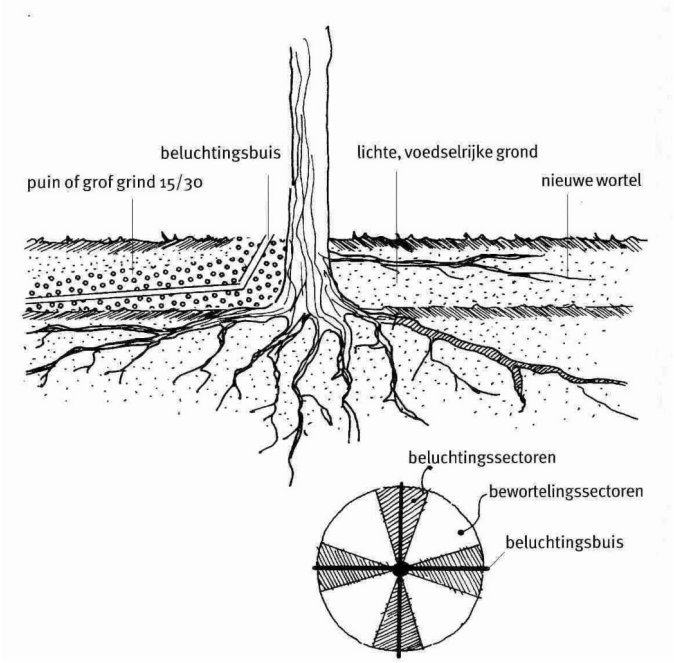
Dit geldt echter voor ophoging met lichtere grond, In situaties waar de toplaag bij voorkeur uit zware klei moet bestaan (o.a. typen waterkerende dijken) is de speling gering.

In de praktijk is echter niet altijd eenduidig vast te stellen wat een bodem in dit opzicht nog aan ophoging kan verdragen zonder dat men dit aan de hand van metingen van de luchtdoorlatendheid van zowel de bestaande situatie als de situatie na ophoging bepaalt. Dit is in de praktijk nog geen routine en ook zijn er te weinig onderzoeksresultaten om van de diverse typen afdek- en ophooggronden die zoal worden gebruikt op voorhand voldoende nauwkeurig aan te kunnen geven wat de vermindering is van de zuurstoftoevoer per dm laagdikte. Complicerende aspecten hierbij zijn dat er van de materialen die er zoal als ophooggrond worden gebruikt onvoldoende bekend is hoe in de praktijk de zuurstofdoorlatendheid van afdek- en ophooggronden verandert nadat ze zijn aangebracht. Dit heeft namelijk niet alleen met

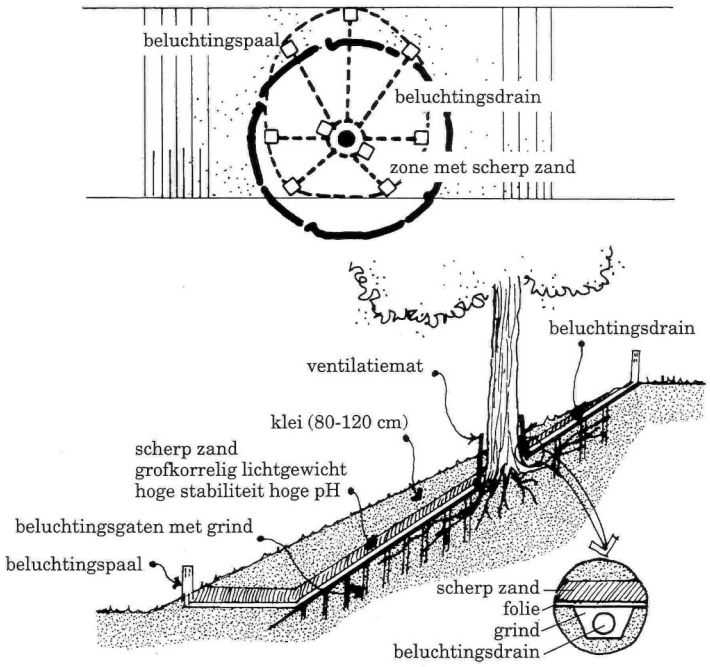
de aard van het materiaal te maken, maar ook met de wijze waarop, en de omstandigheden waarin, het wordt toegepast (vochtigheidsgraad, verdichting c.q. verandering van poriënvolume, et cetera). Zo kan bij een verkeerde behandeling een zandlaag van 20 cm een desastreuzer effect hebben dan een kleilaag van 40 cm, Alleen bij bodemkundig zeer strikt omschreven substraten zouden daarvoor modellen kunnen worden gemaakt, waarvan nog de vraag blijft bestaan in hoeverre die overeenkomen met de situatie in de praktijk. Wanneer het gaat om nog onbekende grondsubstraten zal men met het geven van richtlijnen voor de veilige kant kiezen en is het vrijwel onvermijdelijk dat die richtlijnen zo globaal dan wel "voorzichtig" worden dat ze nauwelijks meer indicatief of realistisch zijn. Het is dan ook voorlopig nog niet mogelijk om de tolerantie voor ophoging zonder meer te koppelen aan tabellen voor maximaal toepasbare laagdikte.
Hierbij moet ook de kanttekening worden geplaatst dat dit soort richtlijnen vaak een eigen leven gaat leiden en de kans is groot dat ze door uitvoerders klakkeloos worden toegepast in situaties waar het vooral aankomt op oog blijven houden voor andere aspecten die alsnog het uiteindelijk resultaat ongunstig kunnen beïnvloeden. Als voorbeeld daarvoor mag het Amsterdamse bomenzand mengsel gelden dat gaandeweg een slechte naam heeft gekregen omdat het te vaak mis ging (d.w.z. de geplante bomen gingen dood). Dit kwam echter doordat uitvoerders te weinig rekening hielden met de randvoorwaarden waaronder het mengsel kon worden toegepast (te veel verdichting onder te natte omstandigheden).

4.2. Ventilatiesystemen.

De meest doeltreffend benadering om de effecten van een ophoging te verminderen is om het zuurstofniveau direct boven het oude maaiveld in de oorspronkelijke status te houden door het aanbrengen van een bodemventilatiesysteem. Hiervoor zijn vele varianten, constructies en materialen en in de loop der jaren met succes in de praktijk toegepast. Desgewenst kan men dit combineren met een beluchtingsysteem in/onder het oude maaiveld wanneer de bodemluchthuishouding daar al te wensen overliet. Een "klassiek" voorbeeld van een beluchtingsysteem weergegeven in figuur 9 en een voorbeeld voor een talud is weergegeven in figuur 10.



Figuur 9. Voorbeeld van een grondophoging bij bomen waar gebruik wordt gemaakt van een ventilatiesysteem (bron: Balder, 1998)



figuur 210. bij een dijkverzwaring zijn speciale voorzieningen nodig om de bomen te kunnen behouden (bron: Van den Brink, 1986)

Figuur 10. Voorbeeld van een beluchtingsysteem bij grondophoging bij bomen op een talud, in dit geval een dijkverzwaring (Bron: Atsma & in 't Velt, 1994).

In figuur 9 worden nog ventilatiepijpen gebruikt die aan een zijde met de buitenlucht in verbinding staan. Tegenwoordig geeft men de voorkeur aan toepassing van pijpen die aan twee zijden open zijn waardoor de lucht beter wordt "ververst" (zie figuur 10).

4.3. Drainage

Wanneer een substantiële stijging van het grondwater wordt voorzien (zie ook figuur 6) dient te worden bekeken of en hoe dit met cultuurtechnische maatregelen kan worden beheerst.
Op plaatsen waar al regelmatig regenwater stagneert en waar dit onvoldoende kan worden verholpen door bodembewerking dient te worden gekeken naar mogelijkheden om waterstagnatie te voorkomen (o.a. met drainagesystemen, grindbedden geulen met grof zand, etc.).

4.4. Verplanten of "lichten" van bomen

In financieel en logistiek opzicht kan het aantrekkelijk zijn om bomen te verplanten in de vorm van "lichten" (= ter plekke opnemen, zonder ze te verplaatsen) en ze (later) weer op de oude, inmiddels opgehoogde, plantplaats terug te zetten. Daarbij kunnen tevens "afgeleefde" exemplaren worden vervangen door nieuwe aanplant. Dit kan al tijdens de planvoorbereiding worden aangegeven. Het lichten van bomen is in het algemeen voorbehouden aan jonge bomen (van de eerste en tweede grootte) en volwassen bomen van die soorten waarvan een verplanting kansrijk is. Volwassen bomen van de derde grootte laten zich vrijwel nooit goed verplanten en daarvoor is vervanging doorgaans de beste optie. Overigens dragen bomen van de derde grootte vanwege hun geringe omvang niet zoveel bij aan de ruimtelijke samenhang van een groenstructuur. Voor oude bomen die inmiddels deel uitmaken van een robuuste groenstructuur is verplanten of lichten geen realistische optie meer.
Wanneer bomen worden verplant of gelicht zullen ze in geringere mate te maken krijgen met de negatieve effecten van een ophoging dan wanneer ze niet zouden worden verplant of gelicht. Fors uitgegroeide bomen van eerste grootte kunnen op volwassen leeftijd echter ook niet meer worden gelicht, uitzonderingen daar gelaten. Hierbij kan dan ook beter al bij ofwel de eerste aanleg ofwel de renovatie van een beplanting worden gekeken naar boomsoorten die van nature al een redelijke tolerantie hebben voor bodemzuurstoftekorten c.q. grondophogingen (ze de tabel in bijlage 1). Althans waar het gaat om locaties die in de toekomst nog meerdere malen zullen worden opgehoogd.
Vervanging moet dan bij voorkeur gebeuren met boomsoorten die in het geheel van de volgende successievelijk ophogingen een "stootje" kunnen hebben (zie ook 4.10).

4.5. Bescherming van de stamvoet

Er is nog steeds geen duidelijkheid over de noodzaak om de stamvoet van bomen wel of niet in de ophoging te betrekken. Sommige bomen kunnen zonder bezwaar tot aan de "nek" in het ophoogzand komen te staan (o.a. populier en wilg). Dit zal echter ook afhangen van de luchtdoorlatende eigenschappen van het ophoogmateriaal. Van andere bomen, voornamelijk die met een wat dunne bast, wordt aanbevolen om de stamvoet vrij te houden of zodanig op te hogen dat er voldoende luchtcirculatie blijft tussen de stamvoet en de ophooggrond en dat de stamvoet niet continu nat is omdat daardoor de bast sneller kan afsterven en verrotten (o.a. beuk en Amerikaanse eik).

4.6. Fasering van de ophoging.

Het is algemeen bekend dat de meeste bomen een geringe ophoging (met 20 à 25 cm rulle grond) zonder al te veel problemen doorstaan omdat er relatief weinig wortelsterfte optreedt en de boom daardoor voldoende tijd heeft om afstervende wortels af te grendelen (om te voorkomen dat rot vanuit de wortels zich in de boom verspreidt) en om vanuit de nog levende wortels nieuwe wortels te vormen op plaatsen waar dat nog mogelijk is. Wanneer een ophoging kan worden opgedeeld in meerdere fasen met een aantal jaren daartussen, dan is dat voor de boom gunstiger dan een ophoging in een keer. Het zal in de praktijk echter niet altijd mogelijk zijn om ophogingen te faseren vanwege o.a. financiële en logistieke redenen.

4.7. Tijdstip van ophogingen

Van sommige boomsoorten (o.a. de gewone esdoorn) is bekend dat overstromingen in het groeiseizoen met een duur van twee etmalen al fataal kunnen zijn terwijl andere soorten (o.a. populier) overstromingen in het groeiseizoen van meer dan 150 dagen nog kunnen overleven. In de rustperiode c.q. de winter zijn de meeste boomsoorten weinig actief en kunnen een overstroming wel doorstaan, vooropgesteld dat de bodem voldoende ontwaterd is op het moment dat de boom weer blad vormt. Substantiële grondophogingen dienen dus bij voorkeur in de rustperiode van bomen te worden uitgevoerd zodat de boom al vroeg in het voorjaar (februari/maart) kan beginnen met de vorming van nieuwe wortels nog voordat het blad uitloopt. Ook in de winter is de activiteit van andere zuurstofeisende bodemprocessen laag en komt pas in het voorjaar geleidelijk weer op gang. In de tussenliggende periode kunnen bomen al beginnen met de vorming van nieuwe wortels waarmee ze a.h.w. een voorsprong nemen.

4.8. Terreinvoorbereiding en kwaliteit van de ophooggrond

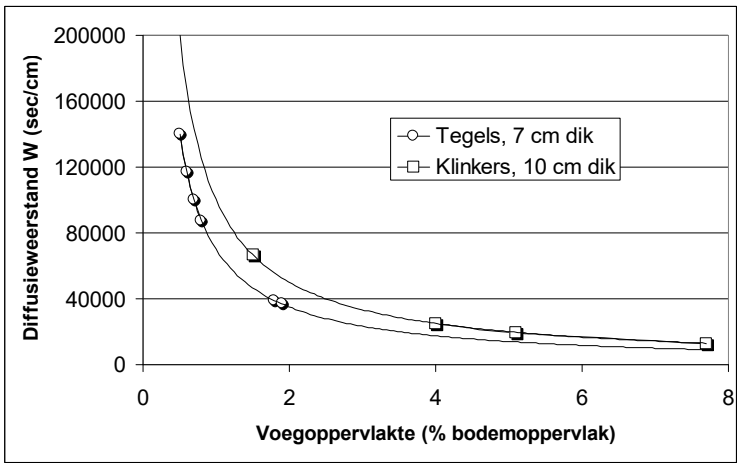
Het verdient vrijwel altijd aanbeveling om bodembedekkende vegetaties (o.a. gras) te verwijderen voordat wordt opgehoogd, behalve dat door vertering van het verse materiaal bodemzuurstofgebrek kan ontstaan kan er na vertering een storende laag ontstaan waarop inzakkend water kan stagneren. In het algemeen verdient het aanbeveling om geen situaties te creëren waarin scherpe grensvlakken in de bodem kunnen ontstaan. De toplaag van bodems die al behoorlijk zijn verdicht kunnen het beste vóór de ophoging doorbroken worden. Eventueel kunnen daarbij ook nog tot op grotere diepten scheuren worden gemaakt (o.a. door het zgn. ploffen van de bodem). Het is in dit opzicht het beste wanneer de ophooggrond qua samenstelling niet teveel afwijkt van het materiaal waarmee eerdere ophogingen hebben plaatsgevonden. Uiteraard dient het ophoogmateriaal “schone grond” te zijn en dus vrij van milieubelastende stoffen. Wanneer het materiaal in de buurt van bomen wordt gebruikt mag het materiaal niet zout zijn. Voor indicatie voor nog toelaatbare zoutgehalten van verschillende typen gronden en grondmengsels kan worden verwezen naar de –meest recente- Standaard RAW Bepalingen[2].
Het organische stofgehalte van het materiaal mag, mits het gaat om “stabiele” organische stof, variabel zijn en bijvoorbeeld afgestemd op het stimuleren van een snelle nieuwe wortelontwikkeling. Zoals reeds in hoofdstuk 2 is aangegeven is de mate waarin andere zuurstofconsumerende processen in de bodem plaatsvinden

[2] RAW 2005, CROW, Ede

maatgevend voor de hoeveelheid zuurstof die nog beschikbaar is voor de wortels. Het overige zuurstofverbruik door andere bodemprocessen mag derhalve niet te hoog oplopen.
Voor de praktijk betekent dit dat het ophoogmateriaal vrij moet zijn van vers organisch materiaal en dat voorkomen moet worden dat snel verteerbaar organisch materiaal zoals graszoden niet worden ondergespit, maar worden verwijderd alvorens de grond wordt opgebracht.
Ook wanneer de opgehoogde grond naderhand nog kunstmatig enigszins wordt verdicht vanwege het verkrijgen van voldoende draagkracht (wat o.a. bij het gebruik van bomenzand gangbaar is), heeft dat een substantieel effect op het poriënvolume en beïnvloed daarmee in belangrijke mate de diffusiemogelijkheid van zuurstof. Verdichting dient dus niet verder te gaan dan de geldende c.q. voorgeschreven normen[3].

4.9. Invloed van het type verharding op de bodemluchthuishouding

Wanneer na ophoging bomen opnieuw in de verharding" komen te staan kunnen de negatieve effecten van een ophoging worden verminderd door te kiezen voor een meer luchtdoorlatende verharding dan die er voorheen lag. Dit kan desgewenst ook de oorspronkelijke verharding zijn, die dan met meer voegbreedte wordt herstraat. Wanneer de verharding zeer dicht bestraat is dan heeft een verdubbeling van de voegbreedte een substantieel effect op de diffusieweerstand. Was de verharding al ruim bestraat, dan is het effect van een verruiming van de voeg minder (zie figuur 11).



Figuur 11. Invloed van de voegbreedte van twee verhardingstypes (7 cm dikke tegels en 10 cm dikke straatklinkers) op de diffusieweerstand (Bron: Kopinga, 1997). Vooral bij voegbreedtes die minder zijn dan 2 % van het totale verharde oppervlakte neemt de diffusieweerstand exponentieel toe naarmate de voegbreedte minder wordt. Dit heeft ook weer gevolgen voor de totale hoeveelheid zuurstof die diffundeert (zie ook figuur 4)

[3] Ook hiervoor geven de RAW- bepalingen enige richtlijnen. Rotterdam heeft deze opgenomen in het moederbestek en handleiding beplantingstechniek

4.10. Gebruik van voor ophoging tolerante boomsoorten

Van veel algemene boomsoorten of –geslachten valt in de literatuur wel enige algemene informatie te vinden over de flooding tolerance[4]. Ook is uit o.a. boomkwekeronderzoek wel één en ander bekend over het mate waarin bomen in staat zijn om nieuwe wortels te vormen uit zowel oudere wortels als bovengrondse delen ("stekbaarheid")[5]. Vanuit de aanname dat nieuwe wortelvorming het beste plaatsvindt bij bomen met een hoge flooding tolerance (die lang genoeg in leven blijven om nog nieuwe wortels te vormen) en met een hoge "stekbaarheid" kan een lijst worden opgesteld van de tolerantie van bomen voor ophogingen. Deze lijst is weergegeven als bijlage 1. Niet van alle soorten is evenveel bekend en soms is er maar één literatuurreferentie te vinden. Ook is niet altijd van iedere boomsoort bekend hoe zowel de flooding tolerance als de stekbaarheid afneemt met de leeftijd. Dit maakt dat soms op basis van best professional judgement een indelingskeuze is gemaakt. Ook de aard en mate van ophoging zal bepalend zijn voor de tolerantie. De lijst geeft dan ook niet meer dan verhoudingen tussen de soorten onderling en beoogt daarbij niet meer dan indicatief te zijn.

4.11. Betekenis van (lekkende) riolen

Lekkende riolen kunnen op twee manieren nut hebben voor bomen:

- Irrigerende werking: ze voorzien bomen van extra water en voedingselementen
- Drainerende werking: ze "trekken" plaatselijk het grondwater omlaag waardoor er voor de boom meer bewortelingsruimte beschikbaar is

In de lager gelegen gebieden zal vooral het tweede een rol spelen. Dit betekent echter dat wanneer een grondophoging gepaard gaat met een rioolrenovatie, er nadien plaatselijk grondwaterstandverhogingen optreden die nadelig voor de bomen kunnen zijn (zie ook figuur 6). Dit vergt derhalve extra aandacht en wellicht maatregelen zoals het aanbrengen van een kunstmatige drain ter hoogte van het oude riool. Wellicht kan ook het oude riool gehandhaafd blijven.

4.12. Bronnering

In het algemeen staat de noodzaak tot bronneren (het water onttrekken aan de bodem ten behoeve van grondwerkzaamheden) los van die van ophogen, maar het kan soms in combinatie voorkomen. Er zijn geen redenen om aan te nemen dat de effecten onder normale bodemkundige omstandigheden elkaar beïnvloeden en waar dat we het geval kan zijn (o.a. ontwatering van veenpakketten). Zullen de gevolgen daarvan per gebeurtenis moet worden bekeken. De richtlijnen die algemeen gelden voor bronnering bij bomen hoeven niet te worden bijgesteld.

4.13. Schade door hernieuwde wortelgroei (wortelopdruk)

Grondophogingen bij bomen hebben het voordeel dat na het opnieuw aanbrengen van een verharding wortelopdruk weer enige tijd achterwege blijft. De ervaring leert

---

[4] Zie o.a. Hook (1984); Niinemets & Valladares (2006); Forestry Ecology and Forestry Management Group, Wageningen University

[5] Zie voor algemene indicaties o.a. de 8e Rassenlijst bomen.

echter dat dit doorgaans maar van korte duur is en dat de bomen als het ware met extra kracht opnieuw wortelschade gaan veroorzaken. Om dit tegen te gaan zijn diverse effectieve en minder effectieve methoden voorhanden. In het algemeen hebben ze gemiddeld genomen bij oude beplantingen minder effect dan bij jonger beplantingen en/of het kost meer inspanningen om ze aan te leggen en/of het betekent een meer dan normale wortelbeschadiging van de boom (en dus en verminderd herstelvermogen van het effect van een ophoging). Het is dus vooral van belang om vooral in de aanleg- of renovatiefase de noodzaak tot het aanbrengen van wortelwerende voorzieningen (en de wijze waarop) vast te stellen en uit te voeren. Met de keuze van het ophoogmateriaal en de verwerking daarvan tijdens ophoging (o.a. verdichting) kan nieuwe wortelontwikkeling enigszins worden “gestuurd”. Het (opnieuw) optreden van schade kan er echter niet geheel mee worden voorkomen. Boomwortels vertonen namelijk een opportunistisch gedrag en zullen zich behalve in zeer geschikt substraat met een optimaal aanbod aan vocht en voedingselementen ook nog blijven ontwikkelen in minder geschikt substraat, vooropgesteld dat dit in fysisch opzicht (o.a. dichtheid) nog geschikt is voor beworteling.

4.14. Invloed van het natuurlijke bewortelingspatroon.

Bomen hebben van nature een “eigen” bewortelingspatroon, variërend van (overwegend) vlakwortelend tot (overwegend) diepwortelend. Omdat bij ophogingen vooral de dieper gelegen wortels het eerste afsterven door zuurstofgebrek zou dit een factor kunnen zijn die moet worden meegewogen in de beoordeling van de gevoeligheid van boomsoorten voor ophoging. Voor bomen in het stedelijk gebied lijkt dit echter niet van doorslaggevend belang. Het bewortelingspatroon is namelijk mede, zo niet voornamelijk, bepaald door bodemeigenschappen zoals dichtheid, vocht en de beschikbaarheid van voedingselementen. De bodemopbouw in het stedelijk gebeid is in dit opzicht nogal variabel en boomwortels kunnen bij wijze van spreken overal zitten, zelfs op bijzondere plaatsen zoals voornamelijk in de geulen waar ook de nutsleidingen zich bevinden. Indien men dus differentiatie wil aanbrengen in bewortelingspatronen, bijvoorbeeld om in te schatten welke dikte van een ophoging nog aanvaardbaar is, is onderzoek naar de beworteling ter plekke noodzakelijk. Op welke wijze dat het beste kan worden uitgevoerd en welke hulpmiddelen daarbij kunnen of moeten worden ingezet (o.a. grondradar) zal per situatie anders zijn en afhangen van praktische uitvoerbaarheid en (financiële) beperkingen. Ook dit blijft derhalve maatwerk.

4.15. Bomenzand als ophoogmateriaal

Bomenzand kan worden gebruikt op plaatsen waar de bodem nog enige draagkracht moet hebben (o.a. bomenstroken in voetgangersgebieden of parkeerplaatsen). In andere gevallen, zoals bij het ophogen van bermen kan wellicht beter worden gekozen voor teelaarde dat een hoger organische stof gehalte heeft (en daardoor als regel beter voldoet als groeisubstraat voor bomen).
In plantgaten in de verharding waar al van meet af bomenzand als groeisubstraat is gebruikt en die is afgedekt met een toplaag van cunetzand zit de beworteling overwegend in het bomenzand en in veel mindere mate in het cunetzand. Met het oog op behoud van het (minimaal vereiste) doorwortelbaar bodemvolume en de mogelijkheden voor nieuwe wortelontwikkeling verdient het aanbeveling om de laag cunetzand te verwijderen alvorens er met bomenzand wordt opgehoogd en daarop

weer een laag cunetzand aan te brengen. In verband met de reductie van organische stof (zie ook 4.11) dient het de onderkant van het pakket bomenzand boven de te verwachten permanent gereduceerde zone te liggen nadat na de ophoging een nieuw grondwaterpeil zich heeft ingesteld.

5. BESLIS"BOOM"

Bij grondophogingen bij bomen komt een veelheid van aspecten aan de orde. Enerzijds betreft dit de cultuurtechnische invalshoek, i.c. het optimaal laten functioneren van nutsvoorzieningen, anderzijds gaat het om een duurzame instandhouding van structuurbepalende boomplantingen. Het één hoeft het ander echter niet in de weg te zitten en de betreffende werkzaamheden kunnen vaak zonder veel bezwaar worden gecombineerd. Dit vraagt echter om afstemming c.q. een volgorde van denken en handelen dat kan dienen als checklist voor het nader vaststellen van beslismomenten en (bijzondere) aandachtspunten daarin.
In het in bijlage 2 gegeven schema is een beslis"boom" geschetst die daartoe kan worden gebruikt.

6. BELANGRIJKSTE CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

De in deze rapportage beschreven richtlijnen zijn opgesteld om als basis te dienen voor overwegingen die zoal in ogenschouw moeten/kunnen worden genomen bij de voorbereiding en uitvoering van ophogingen bij bomen.
Dit betekent echter niet dat alle aanbevelingen en vingerwijzingen klakkeloos kunnen worden toegepast. Afhankelijk van de omstandigheden zijn niet alle aspecten aan de orde en een aantal kan buiten beschouwing worden gelaten. Andere verdienen daarentegen extra aandacht en vragen in het bijzonder om “maatwerk” in de vorm van aangepaste groeiplaatsinrichtingen of boomsoortenkeuze.

Voor het kiezen van de meest geschikte benadering is kennis van de groeiplaats waarvan met name het bewortelingspatroon van de bodem en de ontwatering (en eventuele veranderingen daarin) een eerste vereiste om een optimale keuze te kunnen maken. Voor zover deze gegevens nog ontbreken verdient het aanbeveling om die nader te inventariseren en in kaart te brengen, zodat ze indien nodig tijdig beschikbaar zijn.

Maar ook het monitoren van de gevolgen van een ophoging verdient aandacht. Er is niets of slechts alleen globaal iets bekend over de lange termijn effecten van ophogingen en de uiteindelijke overlevingskansen van bomen en de verschillen tussen de boomsoorten. Een toetsing ter plekke zou de leemtes in deze kennis kunnen vullen. Het verdient aanbeveling om hiervoor ook een monitoringsysteem op te zetten waarbij consequent een aantal bepalende parameters (laagdikte, aard van het materiaal, boomsoort, tijdstip van ophoging, et cetera) worden vastgelegd en de verdere ontwikkeling van de boom wordt gevolgd.
Het kan zinvol zijn om bij beplantingen die worden gerooid de gehele wortelkluit te inspecteren op symptomen van langdurig zuurstofgebrek. Ook de mate van hergroei, zou kunnen worden vastgelegd, bijvoorbeeld aan de hand van groeiringenonderzoek.

7. LITERATUUR EN BRONVERMELDING

Atsma, J. & Y. in ‘t Velt. 1994. Stadsbomenvademecum deel 3 : Verzorging. IPC Groene Ruimte, Arnhem. 470 pp.

Atsma, J. & Y. in ‘t Velt. 1999. Stadsbomenvademecum deel 2: Groeiplaats en aanplant. IPC Groene Ruimte, Arnhem. 529 pp.

Balder, H. 1998. Die Wurzeln der Stadbäume – Ein Handbuch zum vorbeugenden und nachsorgenden Wurzelschutz. Parey, Berlin. 180 pp.

Costello, L.R. & K.S. Jones. 2003. Reducing Infrastructure Damage By Tree Roots: A Compendium of Strategies. WCISA, Cohasset, CA. 119 pp.

Forestry Ecology and Forest Management Group Wageningen University. Tree Factsheet. *webdocs.dow.wur.nl/internet/fem/uk/trees/*

Hook D.D. 1984. Waterlogging Tolerance of Lowland Tree Species of the South. In Wengker, K.F. (ed.) Forestry Handbook, Second Edition, Wiley and Sons, New York. Reprinted in Southern Journal of Applied Forestry 8 (3): 136-149.

Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida. Fact Sheets for 680 Trees. *hort.ufl.edu/trees/*

Kopinga, J. 1981. Gevolgen van het dempen van sloten voor de erlangs staande bomen en beplantingen. Groen 37 (6): 285-289.

Kopinga, J. & J.W. Bakker. 1992. Zeer-open-asfaltbeton als alternatief voor tegelverhardingen op de doorwortelde bodemzone bij (straat)bomen. Dorschkamprapport nr. 689. IBN, Wageningen.28 pp.

Kopinga, J. 1997. Grundlagen für die Bemessung und Anlage von Wurzelräumen für Strassenbäumen. 15. Osnabrücker Baumpflegetage, 2-3- september 1997: II-1 – II-19. Stadt Osnabrück / Fachhochschule Osnabrück.

Kopinga, J. 2009. Effects of a Permanent Increase In Groundwater Level on the Survival of Trees – Development of a predictive tool. P 75 – 82 in: Watson, Costello, Scharenbroch & Gilman (eds.) The Landscape Below Ground. ISA, Champaign Ill. 403 pp.

Meyer, F.H. 1978. Bäume in der Stadt. Ulmer Verlag, Stuttgart. 327 pp .

Niinemets, Ü. & F. Valladares. 2006. Tolerance to shade, drought and waterlogging of temperate northern hemisphere trees and shrubs. Ecological Monographs 76 (4): 521 – 547.

Gemeente Rotterdam. 2005. Standaard Wegenbouwdetails – Situaties en toe te passen constructies voor wegen in stads- haven- en industriegebied. Ingenieursbureau Rotterdam, februari 2005.

8e Rassenlijst Bomen, editie 2007. (g)sb, Naarden. 530 p.

USDA National Resources Conservation Service. Plants Database. http://usda.plants/gov

BIJLAGE 1.

INDICATIEVE LIJST VOOR DE GEVOELIGHEID VAN BOOMSOORTEN VOOR GRONDOPHOGINGEN

Op basis van literatuurgegevens is een lijst samengesteld van de gevoeligheid van boomsoorten voor grondophogingen. Leidend was daarbij de gevoeligheid van bomen voor aanhoudende tekorten aan zuurstof in de bodem (in de literatuur omschreven als flood tolerance). Deze is weergegevens in scores oplopend van 0 tot 5, waarbij
0 = zeer gevoelig;
1 = gevoelig
2 = in lichte mate tolerant;
3 = matig tolerant
4 = in hoge mate tolerant;
5 = zeer tolerant.

Met de “vertaling” van de scores naar de effecten van grondophoging is rekening gehouden met (c.q. gecorrigeerd op) het vermogen van bomen om nieuwe wortels te vormen, zowel uit oudere wortels als uit de stamvoet.

Soms staan achter de boomsoorten meerdere scores. Dit heeft te maken met de variatie in de literatuurgegevens c.q. de omstandigheden waarin de diverse onderzoekgegevens zijn verzameld (o.a. geconditioneerde omstandigheden aan -voornamelijk jonge- bomen versus veldwaarnemingen van al wat oudere opstanden in overslaggebieden van rivierdelta's). Sommige scores staan tussen haakjes. Dit betreft soorten waarvan geen of slechts een enkele referentie is gevonden. Hier is de score toegekend op basis van best professional judgement, rekening houdend met wat er reeds bekend is over andere soorten binnen hetzelfde geslacht.
Voor bomen die zijn vermeerderd op onderstam gelden de eigenschappen van soort onderstam.

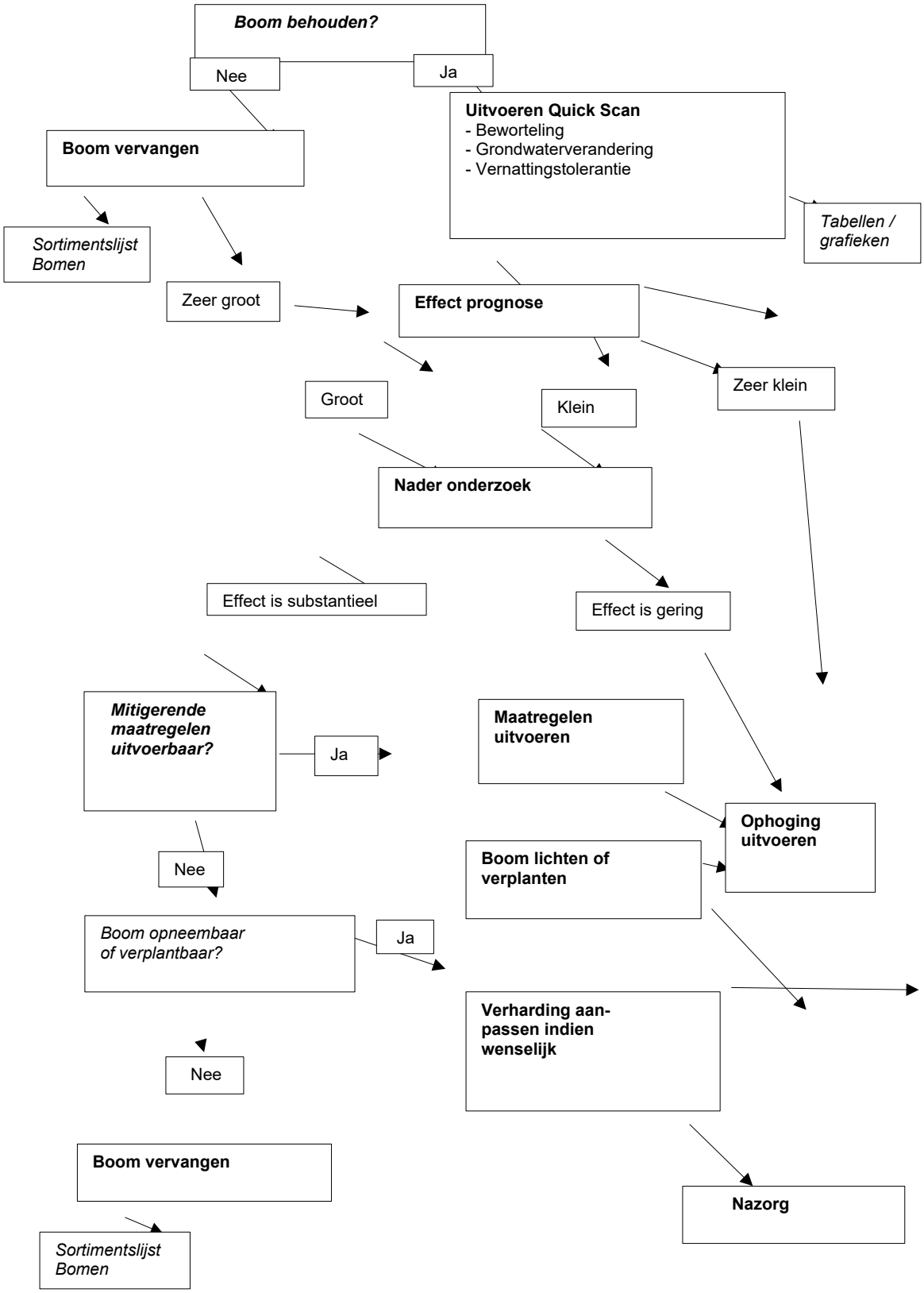
De wijze waarop de lijst is samengesteld (vnl. op basis van literatuurgegevens van veldwaarnemingen die hoofdzakelijk buiten Nederland zijn verricht) maakt dat de lijst niet als “absoluut” mag gelden. De gegeven scores zijn dan ook niet meer dan indicaties waarbij eveneens de onderlinge verschillen tussen de boomsoorten tot uitdrukking komen.

TOLERANTIE VAN BOOMSOORTEN VOOR GRONDOPHOGINGEN

Boomsoort	Eindscore	Boomsoort	Eindscore
Acer campestre	2	Morus alba	3-4
Acer freemanii	2-3	Ostrya carpinifolia	2
Acer negundo	3	Paulonia tomentosa	2
Acer platanoides	1-2	Platanus x hispanica	3-4*
Acer pseudoplatanus	1	Platanus orientalis	3-4*
Acer rubrum	3	Populus alba	2
Acer saccharinum	3	Populus berolinensis	3
Acer saccharum	2	Populus x canadensis	3-4
Aesculus x carnea	2	Populus x canescens	2-3*
Aesculus hippocastanum	2	Populus nigra	4
Ailanthus altissima	3	Populus tremula	2-3
Alnus cordata	3	Populus balsemhybriden	3-4
Alnus glutinosa	4-5	Prunus sp.	1-2
Alnus incana	3	Prunus avium	1
Alnus rubra	3-4	Prunus cerasifera	1-2
Alnus x spaethii	3-4	Prunus padus	3
Betula ermanii	3	Prunus persica	2
Betula nigra	3-4	Prunus serotina	1-2
Betula papyfera	3	Prunus serrulata	2-3
Betula pendula	2	Prunus spinosa	2-3
Betula pubescens	3	Pterocarya fraxinifolia	3-4
Carpinus betulus	2	Pyrus calleryana	1-2
Castanea sativa	1-2	Pyrus communis	1-2
Catalpa sp.	2-3	Quercus cerris	2
Corylus avellana	2-3	Quercus frainetto	2
Corylus colurna	(2-3)	Quercus palustris	2-3
Crataegus spp.	2	Quercus petraea	1-2
Crataegus laevigata	1-2	Quercus robur	2
Crataegus lavallei	1-2	Quercus rubra	1-2
Crataegus monogyna	2-3	Robinia pseudoacacia	1-2
Fagus sylvatica	1	Salix alba	4-5
Fraxinua americana	3-4	Salix sp.	4
Fraxinus excelsior	3	Sophora japonica	2-3
Fraxinus ornus	2-3	Sorbus sp.	1-2
Fraxinus pennsylanica	3-4	Sorbus aucuparia	1-2
Ginkgo biloba	3	Taxodium distichum	4-5
Gleditsia triacanthos	3	Tilia americana	2*
Hippophae salicifolia	2	Tilia cordata	2-3
Ilex aquifolium	2-3	Tilia x europea	2*
Juglans nigra	1-2	Tilia platyphyllos	2*
Liquidambar styraciflua	2-3	Tilia tomenosa	2*
Liriodendron tulipifera	2-3	Ulmus glabra	2-3
Magnolia kobus	2	Ulmus cv's	2-3
Malus spp	2-3	Ulmus laevis	2-3
Metasequoia glytostroboides	4-5	Zelkova serrata	2-3

0 = zeer gevoelig; 1 = gevoelig; 2 = in lichte mate tolerant; 3 = matig tolerant; 4 = in hoge mate tolerant; 5 = zeer tolerant.
Indien vermeerderd op onderstam wordt de tolerantie sterk bepaald door de soort onderstam.
* = hier is de tolerantie van jonge tot half volwassen bomen aanmerkelijk groter dan van oude bomen.

NB. De geel gemarkeerde bomen staan niet (meer) vermeld op de Sortimentslijst bomen, december 2009 van Rotterdam als gangbaar of specifiek te gebruiken boomsoorten.

BIJLAGE 2

BESLIS”BOOM” VOORBEREIDING OPHOGINGSWERKZAAMHEDEN