

Groeiplaatsonderzoek van bomen langs kademuren

→ & advies groeiplaatsinrichting
in de binnenstad van Delft

Inhoudsopgave

1. Inleiding	2
2. Onderzoeksmethoden	3
2.1 Archiefonderzoek	3
2.2 Groeiplaatsonderzoek	3
3. Bevindingen (nulmeting)	4
3.1 Achterom	4
3.2 Molslaan	9
3.3 Geerweg	13
4. Conclusie & advies	14
4.1 Oude en bestaande groeiplaatsinrichting	14
4.2 Nieuwe groeiplaatsinrichting	15
4.3 Sortiment	19
4.4 Plan van aanpak / overig advies	20

1. Inleiding

In de binnenstad van Delft hebben veel bomen het moeilijk die langs kademuren van grachten staan. De bomen staan vaak kort op de kademuren geplant omdat de oude straten smal zijn. Bovendien zijn veel kademuren laag waardoor de grondwaterstand relatief hoog is. Er lijkt sprake van een gebrek aan ruimte en het conditieverval in de boomkronen komt vaak voor.

Vanwege de problemen lijkt het lastig om de gunstige functies die bomen kunnen bieden (ecosysteemdiensten) te kunnen bereiken, zoals het tegengaan van hittestress en het lokaal verhogen van de biodiversiteit. Ook het behoud van het historische beeld van de stad waar bomen onderdeel van zijn, is gewenst. Er is een traditie van aanplant van linde en iep. Maar ook (knot-) wilgen en els worden toegepast, waarbij de els de wilg vaak heeft vervangen. Echter, deze laatste boomsoort veroorzaakt soms schade aan de kademuren.

De gemeente Delft heeft daarom gevraagd om te onderzoeken of er verschillen in kwaliteit van groeiplaats zijn achter hoge, middelhoge en lage kademuren.

De vragen die voor dit onderzoek zijn geformuleerd:

- Hoe de huidige groeiplaats per locatie te verbeteren en daarmee de gehele kade?
- Welke boomsoorten worden met betrekking tot de specifieke factoren geadviseerd?
- Het historische beeld wil de stad erg graag behouden maar een van de kernwaarden is ook het verhogen van de biodiversiteit. Hoe pakken we dat aan?

Het onderzoek heeft zich op verzoek van de gemeente geconcentreerd op de Molslaan en het Achterom omdat de problemen zich hier veelvuldig voordoen. Ook is er gekeken naar de potentie van een gerenoveerd stuk kademuur aan de Geerweg.



Figuur 1.1 Voorbeeld van een goed functionerende jong-volwassen linde aan een hoge kademuur (brughoofd, Kolk 28-30)

2. Onderzoeksmethoden

→ 2.1 Archiefonderzoek

Om een beeld te krijgen welke bomen in het verleden langs de grachten stonden, is een bescheiden archiefonderzoek gedaan (bron: Erfgoed Delft Stadsarchief). Voor de locaties Achterom, Brabantse Turfmarkt en Molslaan zijn relevante foto's gevonden. De foto's komen uit de periode 1890 - 2005.

→ 2.2 Groeiplaatsonderzoek

Om te kunnen bepalen welke groeiplaatsinrichting perspectief kan bieden aan een goede kwaliteit van de bomen langs de grachten, is allereerst een groeiplaatsonderzoek van de huidige situatie aan de orde. Volgens de voor dit onderzoek gedeeltelijk relevante publicatie van [de Bomenstichting & CROW \(2019\)](#) zou het veldonderzoek moeten bestaan uit het beoordelen van de kwaliteit van de bomen, een ruimtestudie en het bepalen van kansen en knelpunten.

Het vaststellen van de huidige kwaliteit wordt ook wel een nulmeting genoemd. Hierbij worden verschillende aspecten bepaald, zoals boomsoort, omvang, conditie, doorwortelbare ruimte en toekomstverwachting van de bomen als ook waterhuishouding en zuurstofvoorziening van de bodem.

De ruimtestudie bestaat uit het ruimtebeslag van de boom en de civiele inrichting, zowel boven- als ondergronds. Dit betreft onder andere kroonprojectie, verspreiding van het wortelpakket, reductiezone, grondwaterstand, bodemprofiel, maaiveldniveau en benodigde ruimte voor groei.

Bij kansen gaat het om het vergroten van de potentie van de bomen (voor zover mogelijk) zoals het verbeteren van de groeiplaats. Bij knelpunten kan het gaan om bedreigingen voor de toekomst van de bomen zoals beperkte ruimte, verlies van beeldkwaliteit, verlies van functie en onherstelbare slechte kwaliteit van de bomen. De bovengenoemde publicatie heeft als doel deze zaken in kaart te brengen in het kader van bouwwerkzaamheden rondom bomen (richtlijn bomen effect analyse), maar in de binnenstad van Delft zijn meerdere knelpunten reeds in de huidige situatie aanwezig.

Om de huidige situatie in kaart te brengen zijn groeiplaatsonderzoeken uitgevoerd op de locaties Achterom, Molslaan en Geerweg. Aan de Geerweg staan nog geen bomen geplant. Voor dit onderzoek is geen beoordeling voor alle bomen (zoals een systematische boomveiligheidscontrole) in de Molslaan en het Achterom gemaakt, maar is wel per profielsleuf aangegeven welke bomen het betrof en zijn ze beoordeeld op eventuele gebreken. Er zijn representatieve locaties geselecteerd om groeiplaatsonderzoek te doen zodat er informatie kon worden verzameld over bodemprofielen bij verschillende kademuurhoogtes, verschillende boomsoorten en verschillende conditieklassen.

3. Bevindingen (nulmeting)

3.1 Achterom

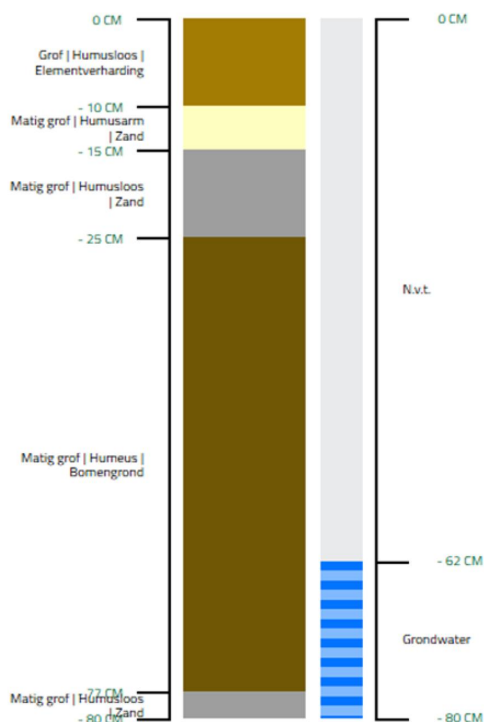
3.1.1 Elzen oostzijde

Uit foto's van het stadsarchief blijkt dat de bomen bij de Rozemarijnbrug in 1997 zijn gekapt. De elzen (*Alnus x spaethii* 'Spaeth') aan de oostzijde (oneven huisnummers) richting het noorden zijn later geplant, vermoedelijk in 1997 (ca. 28 jaar geleden). De diameterklasse is 20-30 cm (dbh). De conditie van deze elzen varieert van slecht tot redelijk en dit lijkt overeen te komen met een beperkte diktegroei van de elzen die onder optimale omstandigheden in dezelfde periode 50-60 cm stamdikte kunnen bereiken.

De onderstaande figuren zijn van een profielsleuf tussen twee elzen van dezelfde leeftijd waarbij de ene in een redelijke conditie verkeert en de andere een slechte conditie heeft met duidelijke afstervingsverschijnselen.



Figuur 3.1 Achterom, juni 2005 (Stadsarchief), zicht op Rozemarijnbrug. De elzen rechts zijn jong en verkeren zichtbaar in een goede conditie. Links: iepen (matige conditie).



Figuur 3.2 Bodemprofiel Achterom 139-141; er zijn alleen wortels aangetroffen in de laag -10 tot -15 cm.

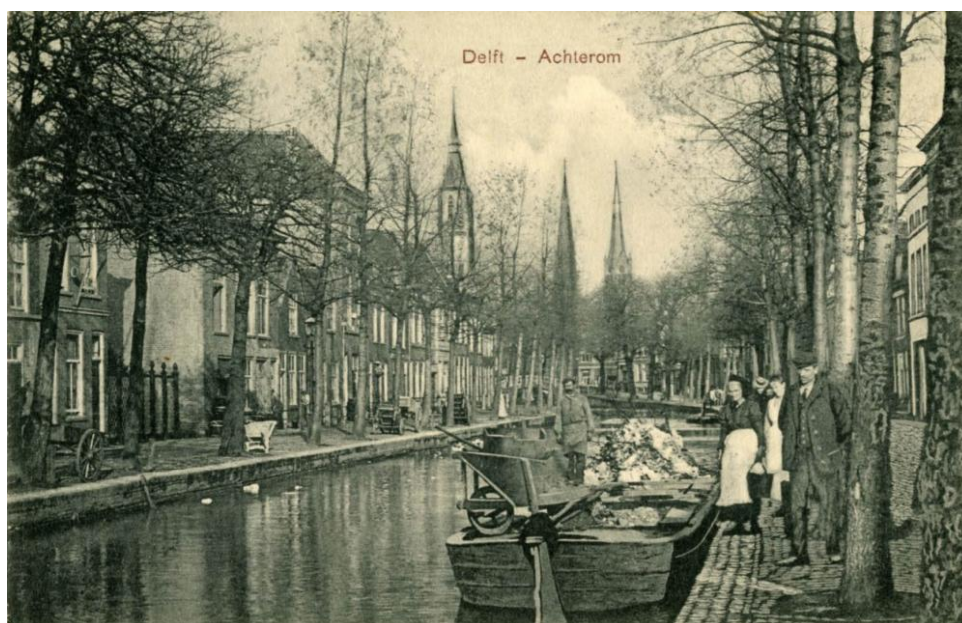


Figuur 3.3 Achterom 139-141: groeiplaatsonderzoek tussen ca. 30 jarige elzen: 19.916 (slecht) en 19.918 (redelijk, bladontplooiing)

Tussen boomnummers 19.916 (slechte conditie, op 3,5 m afstand) en 19.918 (3,7 m afstand) is een profielsleuf gegraven. Direct onder de klinkers zijn verreweg de meeste wortels aangetroffen in een dunne laag van 5 cm humusarm zand. Daaronder bevindt zich grijs zuurstofloos zand (laagdikte 10 cm). Vervolgens is bomengrond (niet verdicht) aangetroffen tot 15 cm onder het grondwaterpeil (laagdikte ca. 50 cm). Hierin bevinden zich nauwelijks wortels (alleen enkele paarse / gestikte wortels aangetroffen). Hieronder bevindt zich weer grijs zuurstofloos zand (volledig verzadigd met water). Omdat de bomengrond volledig contact heeft met het grondwater trekt het vocht omhoog tot kennelijk 15 cm onder maaiveld. Immers, gezien de grijze kleur en de afwezigheid van wortels in het zand tussen -15 en -25 cm is het grootste deel van de potentiële groeiplaats ongeschikt voor wortelgroei. Vergeleken met de potentiële diepte aan groeimedium van 40 cm (ca. -50 tot -10 cm mv) is in de huidige situatie slechts 5 van de 40 cm beschikbaar (12,5%).

Voor boomnummer 19.916 geldt vanwege de dode top, (zeer) slechte conditie en witrot in de stam dat de toekomstverwachting slecht is (< 5 jaar); advies vellen. Een aantal elzen heeft zwarte vlekken op de schors van de stamvoet, hetgeen een symptoom is van een aantasting. Vermoedelijk betreft het een zwakteparasiet (niet gedetermineerd).

3.1.2 Iepen westzijde



Figuur 3.4 Achterom ca. 1925 (Stadsarchief) met diverse boomsoorten. De bomen rechts lijken op populier of wellicht zachte berk; links vooraan lijkt op linde (3 stuks).

Van het stukje gracht aan het Achterom op de bovenstaande foto zijn ook foto's uit 1913 en ca. 1900 gevonden waarbij vermoedelijk dezelfde bomen als jongere exemplaren te zien zijn. Hieruit kan worden afgeleid dat de bomen op de bovenstaande foto tenminste 30 jaar oud zijn en gezien de takdichtheid en de hoogte van de kronen was de gemiddelde conditie prima. Nu staan er aan de westzijde (links op de foto) iepen.

Nabij de Gasthuisbrug, tussen de Bree- en Clarenstraat aan het noordeinde van het Achterom, staat de grootste iep (*Ulmus x hollandica*, cultivar onbekend) omdat de groeiplaats vanwege het brughoofd wat hoger is. Op een foto uit 1965 is te zien dat op dezelfde plek vermoedelijk een volwassen populier stond (geschatte stamdiameter 60-80 cm), die mogelijk al voor 1900 geplant is.



Figuur 3.5 Gasthuisbrug ca. 1965 (Stadsarchief); links vermoedelijk een volwassen populier, verderop lindes (zie figuur 4.1)

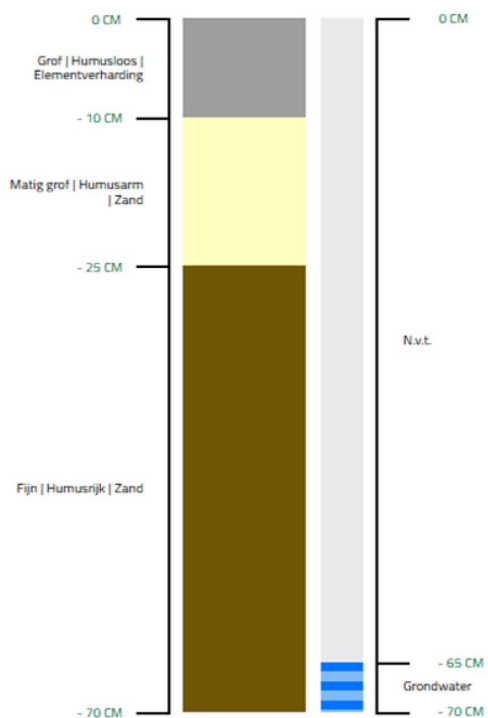


Figuur 3.6 Dezelfde locatie, huidige situatie boom 19.941

Bij boomnummer 19.941 (redelijke conditie, 40-50 cm dbh) is op 3,0 m afstand een profielsleuf gegraven. Uit het groeiplaatsonderzoek (onderstaande figuren) blijkt dat er kleiig/humusrijk zand is aangebracht tot onder de grondwaterstand, waardoor het grondwater optrekt en ongeveer de helft van de diepte van het profiel ongeschikt is voor wortelgroei. Wortels groeien hoofdzakelijk in het straatzand en aan de bovenzijde van het bomenzand met uitzondering van enkele fijne wortels tegen de muur. Desondanks is deze iep in staat geweest om een groter wortelstelsel te vormen en dat moet richting de brug en wellicht onder de rijbaan gevormd zijn, maar de meeste opdruk ligt in de parkeerstrook (zie onderstaande figuren).

Ca. 1 m vanaf de kademuur zijn oxidatievlekken al zichtbaar op 15 cm onder de klinkers, dan 15 cm grijs (zuurstofloos) zand en kleiig/humusrijk zand, grondwaterniveau niet bepaald. Hier is slechts in de bovenste 10 cm zand wortelgroei aangetroffen.

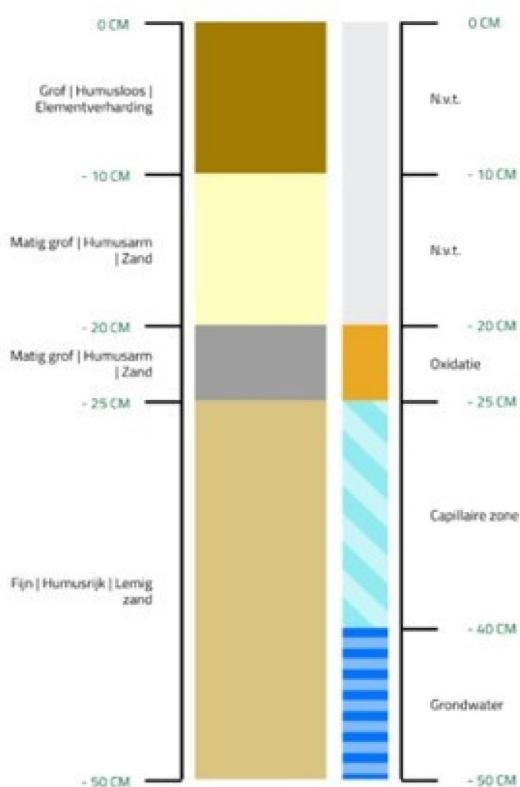
Boringgegevens



Figuur 3.7 Er zijn alleen wortels aangetroffen tussen -10 tot -30 cm.



Figuur 3.8 Achterom tussen Bree- en Clarenstraat: groeiplaatsonderzoek ten zuiden van de iep

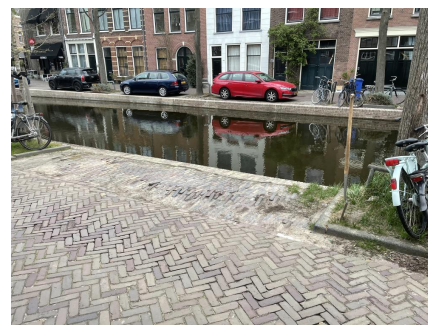


Figuur 3.9 Er zijn alleen wortels aangetroffen in de bovenste 10 cm straatzand.



Figuur 3.10 Achterom 84/86: groeiplaatsonderzoek ten noorden van de iep

Ter hoogte van huisnummers 84/86, nabij een iep (onbekende cultivar, matige conditie, 20-30 cm dbh) is een profielsleuf gegraven op 1,8 m afstand. Er is sprake van ernstige opdruk en de rollaag van de kademuur is richting de gracht gekanteld. Uit het groeiplaatsonderzoek blijkt dat er een 10 cm laag intensieve wortels aanwezig is in het straatzand en tussen de klinkers (opdruk). Slechts 10 cm lager is er een smalle reductiezone en grijs zand aangetroffen, terwijl het grondwater op 40 cm onder maaiveld ligt. Dat betekent dat er hooguit 30 cm ruimte is tussen klinkers en grondwater. Het straatzand is 10-15 cm en vervolgens is er een natte, kleiige/humusrijke zandlaag (zie bovenstaande figuren).



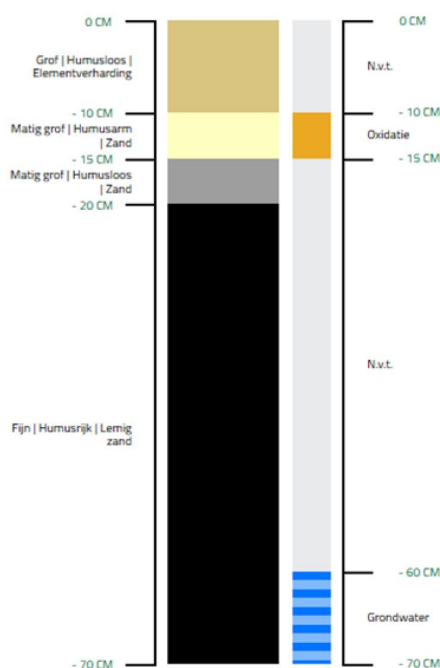
Figuur 3.11 Achterom 84/86



Figuur 3.12 Achterom 58

Ter hoogte van huisnummer 58, nabij een iep (onbekende cultivar, slechte conditie, 20-30 cm dbh) is een profielsleuf gegraven op 3,0 m afstand. Er is geen opdruk van de verharding in dit parkeervak. De rollaag van de kademuur is wel enigszins gekanteld en een wortel groeit parallel aan de kademuur op maaiveldhoogte. Uit het groeiplaatsonderzoek blijkt het straatzand op 5 cm onder de klinkers al oxidatievlekken te hebben, vervolgens 5 cm grijs zand (zuurstofloos) en tenslotte kleiig/humusrijk zand tot het grondwater op 60 cm diepte. Dat betekent dat er hooguit 50 cm ruimte is tussen klinkers en grondwater, maar aan de binnenzijde van de kademuur komt het 'grachtwater' tot op 40 cm diepte en blijft er dus hooguit 30 cm over (zie onderstaande figuren).

Boringgegevens



Figuur 3.14 Achterom 58: groeiplaatsonderzoek ten noorden van de iep

Figuur 3.13 Amper 5 cm groeiruijnte voor wortels

3.2 Molslaan

Uit de archiefbeelden blijkt dat aan weerszijden van de Molslaan in het verleden overal lindes gestaan hebben. Rond 1900 lijkt het om diameterklasse 30-40 cm te gaan en waren het lindebomen die altijd geknipt werden zodat er een smal scherm ontstond. In de jaren 1920 zijn ze vervangen en zijn er opnieuw lindes geplant. Ook op foto's uit de jaren 1960 zijn jonge lindes te zien. Vermoedelijk is een omloop van circa 40 jaren gebruikelijk geweest aan deze gracht.



Figuur 3.15 Molslaan, september 1898 (Stadsarchief) met lindes in blad



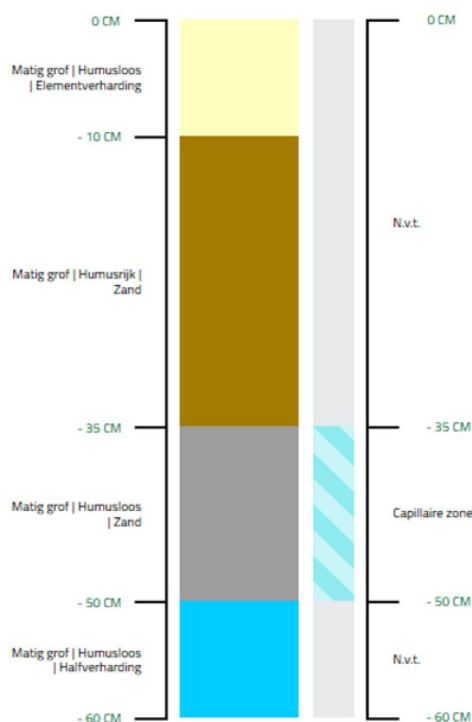
Figuur 3.16 Molslaan, ca. 1900 (Stadsarchief), winterbeeld van gekandelaberde lindes

Ter hoogte van huisnummer 20 is een profielsleuf gegraven op 95 cm afstand van een iep (matige conditie, 20 cm dbh). Het waterpeil van de gracht ligt op 30 cm onder de rollaag van de kademuur. In het parkeervak is een betonvloer aangetroffen op 50 cm diepte. De laag straatzand is 10 cm dik en wordt gevolgd door humusrijk zand 35 cm diepte. In deze laag zijn wortels aangetroffen (-10 tot -35 cm). De onderste 15 cm is grijs zand (zuurstofloos). Er zijn fijne wortels aangetroffen in de bovenste 20 cm zand en dit is kenmerkend voor de capillaire stijging van het grondwater tot dit niveau (zie onderstaande figuren).



Figuur 3.17 Molslaan, ca. 1925 (Stadsarchief), recent geplante lindes

Boringgegevens



Figuur 3.18 Wortels zijn aangetroffen in de laag humusrijk zand op 10 tot 35 cm diepte.



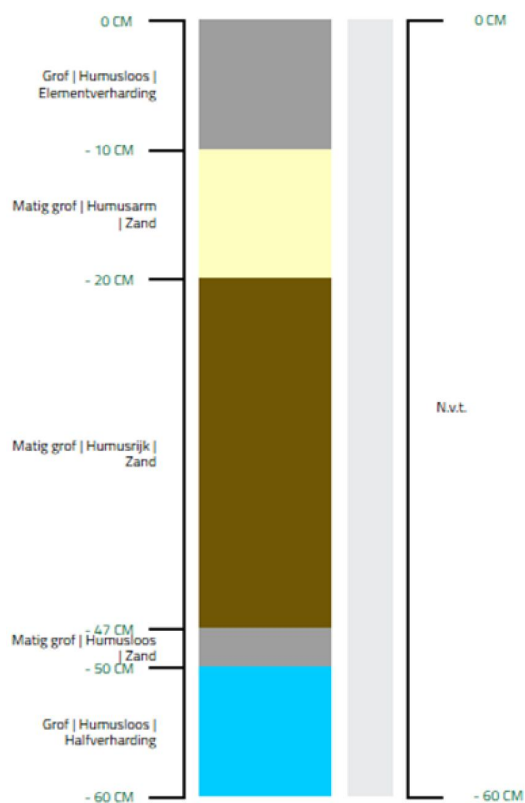
Figuur 3.19 Profielsleuf ter hoogte van Molslaan 20

Ter hoogte van huisnummer 104 (Heilige Geesthuis, foto rechts) is een profielsleuf gegraven op 95 cm afstand van een iep (slechte conditie / topsterfte, 18 cm dbh). Het waterpeil van de gracht ligt op 40 cm onder de rollaag van de kademuur. In de strook langs de gracht is een betonvloer aangetroffen op 50 cm diepte. De laag straatzand is 10 cm dik, maar korter bij de rijbaan 20 cm. Onder het straatzand ligt humusrijk zand tot op het beton. De onderste 3 cm van dit zand is grijs (zuurstofloos). Er zijn fijne wortels aangetroffen in de bovenste 20 cm zand en dit is kenmerkend voor de capillaire stijging van het grondwater tot dit niveau (zie onderstaande figuren).



Ter hoogte van huisnummers 111-122, nabij een Spaeth els (redelijke conditie, ca. 30 cm dbh) is een profielsleuf gegraven op 2,0 m afstand. De breedte van het parkeervak is 1,6 m. Het waterpeil van de gracht ligt op 45 cm onder de rollaag van de kademuur. Het maaiveld van de rijbaan ligt hoger dan de rollaag. In het parkeervak is een betonvloer aangetroffen op 58 cm diepte, maar geen grondwater. Ten tijde van het onderzoek was de groeiplaats betrekkelijk droog. Onder de klinkers ligt ca. 20 cm straatzand met een hoge mate van verdichting waarbij er voornamelijk in de bovenste 5 cm wortels zijn aangetroffen. De wortels vormen als het ware een gevlochten mat, een zeer oppervlakkig wijd wortelstelsel dat gezien de hoge mate van opdruk in de rijbaan uitstrekt tot aan de gevels. Tussen de betonvloer en het straatzand ligt humusrijk zand met nauwelijks wortels (extensief, fijn). Zie onderstaande figuren.

Boringgegevens

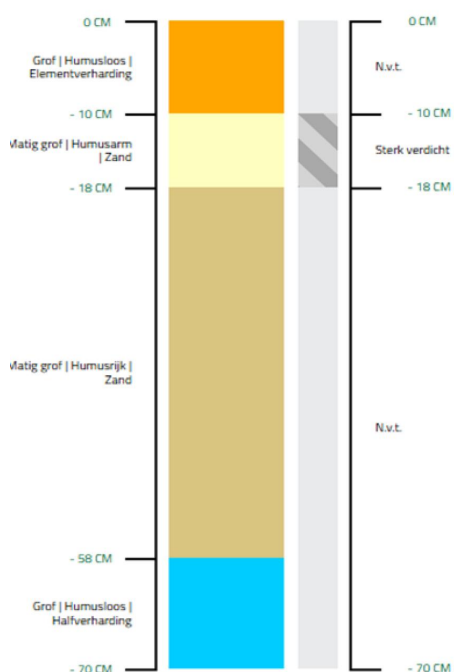


Figuur 3.20 Wortels zijn aangetroffen direct onder de klinkers (-10 cm) tot 30 cm diepte.



Figuur 3.21 Profielsleuf ter hoogte van Molstraat 104 tussen kademuur en rijbaan

Boringgegevens



Figuur 3.22 Wortels zijn alleen in de bovenste 5 cm zand aangetroffen.



Figuur 3.23 Profielsleuf ter hoogte van Molstraat 111-122: opvallend dichte, dunne laag relatief fijne wortels direct onder de klinkers

De Spaeth elzen in het oostelijke deel van de Molslaan zijn niet of nauwelijks in staat in de diepte van het profiel te groeien, maar groeien wel hier en daar door de kademuur heen de gracht in. Hieruit blijkt maar weer eens dat elzen waterminnende bomen zijn en dat het grachtwater voldoende zuurstof bevat.



3.3 Geerweg

In de Geerweg staan momenteel geen bomen meer. Hier is de kademuur gerenoveerd en zijn nieuwe groeiplaatsen ingericht. De breedte van de parkeerstrook is 1,5 m en de beoogde plantafstand 8 m. Ter hoogte van huisnummer 51 is in een boomspiegel een profielsleuf gegraven. Het waterpeil in de gracht is 63 cm onder maaiveld en aan de binnenzijde van de muur blijkt dit 72 cm diep te zijn. De binnenzijde van de muur is bekleed met een hard plastic laag tot 5 cm onder maaiveld.

De boomspiegel is volledig ingevuld met humusrijk zand (bomengrond) tot 80 cm diepte / in het grondwater. Op 80 cm diepte is grijs zand (zuurstofloos) aangetroffen. Op de rand van de rijbaan met de boomspiegel liggen de klinkers op humusarm zand, waarbij er direct onder de klinkers oxidatievlekken zijn aangetroffen. Deze reductiezone aan de directe oppervlakte is 20 cm dik en daaronder ligt grijs (zuurstofloos) zand. Er zijn oude wortels van knotwilgen aangetroffen tot in het grijze zand.



Figuur 3.24 Profielsleuf ter hoogte van Geerweg 51 tussen kademuur en rijbaan in een boomspiegel



Figuur 3.25 Oxidatievlekken in het straatzand direct onder de klinkers van de rijbaan

4. Conclusie & advies

4.1 Oude en bestaande groeiplaatsinrichting

Getuige de foto's uit het stadsarchief blijkt het mogelijk om met de beperkte ruimte van de lage kades toch bomen uit te laten groeien tot volwassen exemplaren van behoorlijk formaat. In de voormalige situatie was waarschijnlijk de gehele kade tussen kademuren en funderingen van de woningen beschikbaar als volwaardige groeiplaats voor de bomen (5 à 6 m breedte). Dit was voorafgaand aan grote veranderingen zoals de aansluiting op aardgas vanaf de jaren 1960 en allerlei andere kabels en leidingen in de loop der jaren en een toename van het verkeer (trillingen: bodemverdichting). Ook toen bereikten de bomen hun grenzen zoals te zien is aan opdruk van de verharding op oude foto's.



Figuur 4.1 Brabantse Turfmarkt (1966-'67) met op de achtergrond de Gasthuisbrug en het Achterom (Stadsarchief). Er stonden volwassen lindes, ogenschijnlijk in een redelijke of goede conditie, maar ook zichtbaar is opdruk van de verharding. In figuur 3.5 zijn de kronen op de achtergrond zichtbaar.

Met andere woorden, welke groeiplaatsinrichting ook wordt toegepast, geschikt ondergronds volume voor de ontwikkeling van wortelstelsels blijft de meest beperkende factor voor de toekomstverwachting van bomen, in het bijzonder aan de lage kades. Van archieffoto's kan worden afgeleid dat in de voormalige situatie de bomen aan de lage kades toch zeker 40 jaar oud konden worden en ze vermoedelijk nog wat ouder werden zoals de bovenstaande lindes. Ook lijkt het gebruikelijk te zijn geweest om de kronen van de lindes in te nemen. In de Molslaan lijkt dit periodiek te zijn geweest (kronen als scherm) en aan de Brabantse Turfmarkt zijn de kronen weliswaar ingenomen, maar veel breder.

Het blijkt duidelijk uit diverse profielsleuven in dit onderzoek dat er vaak sprake is van een verkeerde inrichting van grondlagen in relatie tot het hoge grondwaterpeil. Bij gebruik van een rijk substraat met capaciteit tot het vasthouden van bodemvocht zoals organische stof dat in contact staat met de reductiezone en/of het grondwater, neemt de capillaire werking van het profiel sterk toe waardoor de

poriën volledig gevuld zijn met water in plaats van gedeeltelijk met lucht. De porositeit van de kademuren kan hier ook aan bijdragen. Het gevolg is dat wortelontwikkeling niet of nauwelijks mogelijk is. Terwijl bij elzen in de Molslaan is waargenomen dat wortels door de muur onderwater de gracht in groeien, zien we ze niet in de diepte in het zand groeien. Klaarblijkelijk is er te weinig zuurstof in de groeiplaats, terwijl dit wel voldoende aanwezig is in het grachtwater.

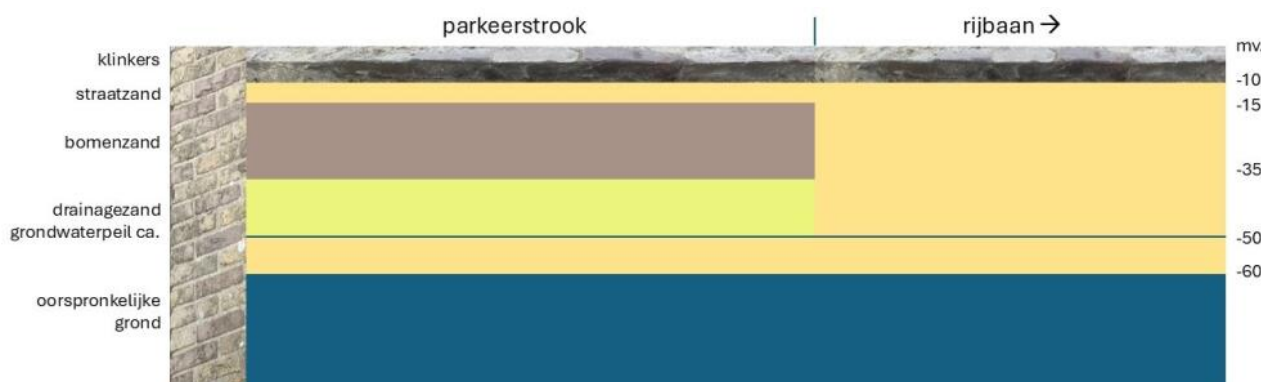
Een gemiddelde groeiplaats in het Achterom & de Molslaan heeft een zeer laag doorwortelbare volume in de huidige situatie, blijkt uit het groeiplaatsonderzoek. Het gaat in veel gevallen om slechts 1 m³ per boom in de parkeerstrook aan de binnenzijde van de kademuur (5-10 cm effectieve laagdikte) tot maximaal 3,5-4 m³, te zien aan de opdruk van verharding in de rijbaan tot aan de gevels, waaruit blijkt dat de wortelstelsels oppervlakkig gebruik maken van het laagje straatzand over de volledige breedte van de kade (Molslaan).

Ondanks dat de binnenstad van Delft een kunstmatig aangelegd gebied is waarvan geen oorspronkelijke samenstelling van de bodem bekend is, bestaat de direct omgeving van het oude Delft voornamelijk uit zavel en (kalkarme en/of zware) klei (bodemdata.nl). Zavel bevat 8 tot 25% lutum (kleifractie), lichte klei vanaf 25% lutum en zware klei vanaf 50% lutum. Dit zijn vruchtbare bodems en mogelijk is de binnenstad op klei gebouwd. Dit zou kunnen verklaren waarom de lindes in figuur 4.1 met betrekkelijk weinig ruimte behoorlijk groot konden worden. Immers, in vruchtbare grond is het benodigde wortelstelsel kleiner dan in zand (< 8% organische stof) in relatie tot de kroonprojectie.

→ 4.2 Nieuwe groeiplaatsinrichting

4.2.1 Reguliere invulling met zand

Bij een nieuwe groeiplaatsinrichting zal voorkomen moeten worden dat grondwater in zand te ver kan stijgen, uitgaande van een reguliere toepassing van een substraat dat hoofdzakelijk uit zand bestaat. Afhankelijk van de locatie (lage of middelhoge kade / brughoofd) zal bepaald moeten worden hoe hoog het grondwater precies komt (reductiezone) waarboven humusloos, grof zand (drainagezand) in een laagdikte van 15 cm wordt toegepast.



Figuur 4.2 Voorbeeld profiel toepassing bomenzand in parkeerstrook

In de beschikbare ruimte tussen het humusarme straatzand (dikte ca. 10 cm) onder de klinkers en het drainagezand kan gebruik worden gemaakt van het groeimedium bomenzand (4-5% organische stof en 2-4% lutum). Echter, dit is alleen mogelijk in de ca. 1,5 m brede strook van de parkeervakken tussen de bomen. Bomenzand mag namelijk niet worden toegepast onder een rijbaan. De klinkers worden gelegd

op een laag humusarm, relatief fijn zand (straat-zand) en een zandbed tot (voorbij) het grondwaterpeil. Hierdoor is er in de praktijk maar beperkte wortelgroei mogelijk onder de rijbaan vanwege de hoge mate van verdichting van het zand voor het draagvermogen van de rijbaan. Het is daarmee niet te kwalificeren als groeiplaats.

Het inrichten van een groeiplaats met bomenzand en met handhaving van de huidige plantafstand levert het volgende doorwortelbare volume haalbaar in de parkeerstrook:

- ca. 1,5 m breedte x 7 m plantafstand x netto 25 cm diepte (lage kade) = 2,6 m³
- ca. 1,5 m breedte x 7 m plantafstand x netto 40 cm diepte (lage kade) = 4,2 m³
- ca. 1,5 m breedte x 7 m plantafstand x netto 50 cm diepte (middelhoge kade/brughoofd) = 5,3 m³

Netto diepte wil zeggen tussen klinkers en drainagezand, waarbij deze diepste laag niet wordt meegeteld (reductiezone). Het netto volume blijft zeer bescheiden en garandeert maar voor enkele jaren een optimale groei, waarschijnlijk tot maximaal 5 jaar na aanplant bij 40 cm diepte.

Ter referentie, een gracht met een hoge kade (netto 90 cm diepte) en een grotere plantafstand (13 m) levert ca. 18 m³ doorwortelbaar volume in de parkeerstrook. Op bredere grachten met een hoge kade (diagonaal parkeren ca. 4 m breedte) wordt dit ca. 47 m³ in een optimale, onverstoorde groeiplaats. In deze groeiplaatsen kunnen bomen volwassen worden (ca. 50 jaar, stamdiameterklasse 60-70 cm) met toepassing van bomenzand.

De enige manier om bomen een langere levensduur te geven in de binnenstad van Delft met de reguliere invulling van zand in de kade is de plantafstand te vergroten en de ca. 14 m tussenruimte te garanderen als groeiplaats over de maximale diepte en breedte die beschikbaar is. Dit zou voor een netto diepte van 40 cm ca. 8 m³ opleveren, een geschatte optimale groei (conditie) gedurende 10-15 jaren waarna conditieverval zal optreden voor de categorie 'langzamer groeiende boomsoorten' zoals iep en linde.

Het ophogen van alleen de parkeerstrook met ca. 10 cm is mogelijk esthetisch (cultuurhistorisch) ongewenst, maar zou wat extra groei-ruimte kunnen creëren, bij een netto diepte van 50 cm i.p.v. 40 cm is er een kuub winst, bij een dubbele plantafstand (14 m) wordt dit ca. 11 m³ (duur optimale groei ca. 15-20 jaar bij 14 m plantafstand).

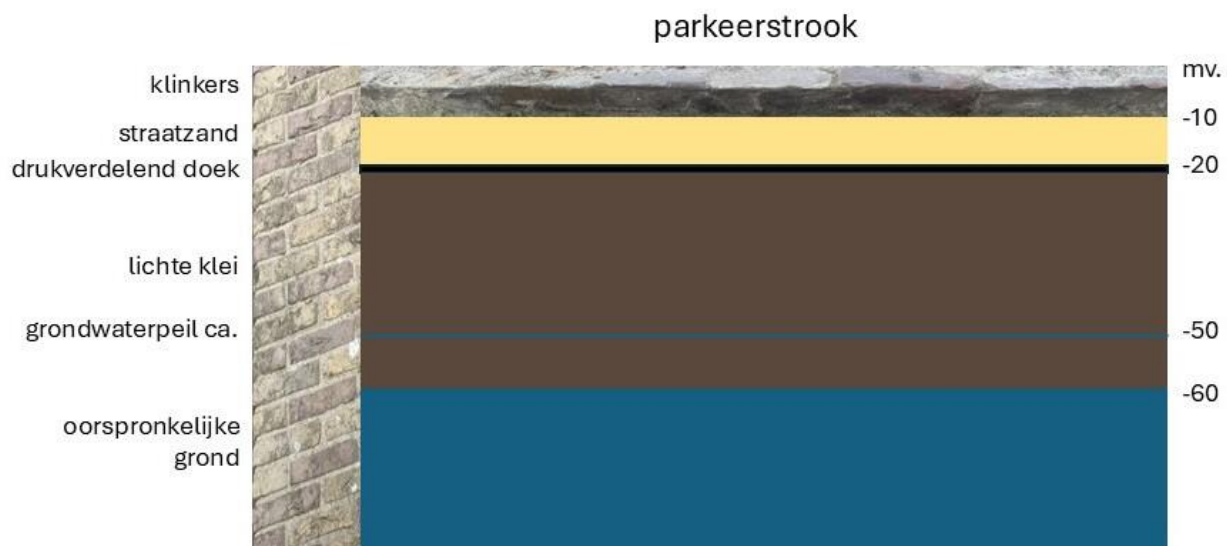
4.2.2 Groeiplaats onder de rijbaan

Een inrichting met een dragende kunststof constructie onder de klinkers tussen kademuur en voorgevel zoals een inrichting met een krattensysteem geeft in theorie de mogelijkheid om een groeimedium te gebruiken onder de rijbaan zodat het volume toe kan nemen. Het is echter niet toegestaan om bestaande kabels en leidingen te overkluizen met een kunststof constructie, omdat de ondergrondse voorzieningen dan moeilijker bereikbaar worden. Bovendien, de kratjes en straat-zandlaag (samen ca. 20-25 cm dikte) die feitelijk onbereikbaar zijn voor wortelontwikkeling maken het grootste deel uit van de diepte van het profiel, zodat er nauwelijks sprake is van ruimtewinst.

Ook als de ruimte tot de riolering die ongeveer halverwege de rijbaan ligt ingericht wordt als groeiplaats onder een krattensysteem, neemt de beschikbare ruimte vanwege het lage profiel niet toe, omdat de groeiplaats dan ca. 3 m breed zou kunnen worden (3 x 7 x 0,2 m = 4,2 m³ bij 40 cm netto diepte). De exacte positie van de riolering is in dit onderzoek niet beoordeeld, dus mogelijk is er wel sprake van enige ruimtewinst op sommige kades.

4.2.3 Groeiplaats met vruchtbare grond

Een invulling van de parkeerstrook (tussen kademuur en rijbaan) met lichte klei zou mogelijk de voormalige situatie (<1960) deels kunnen nabootsen. Straatzand en klei kan worden gescheiden met een druk-verdelend doek om meer draagkracht te krijgen. Het toepassen van klei onder een rijbaan is in ieder geval niet toegestaan vanwege het hoge risico op inklinking (verkeersklasse 4 / D). Klei houdt meer vocht vast omdat de korrelgrootteverdeling veel lager is, maar staat het daarom ook moeilijker af. In een natuurlijke kleilaag is het grondwaterpeil in de winter vrij hoog en in het groeiseizoen lager. Echter, aan de binnenzijde van een kademuur die niet waterdicht is en een kunstmatig constant grachtwaterpeil dat door het waterschap gehandhaafd wordt, zal de capillaire werking vrij constant zijn. Maar de beschikbare klei boven de capillaire werking heeft als voordeel dat de ondiepe laag gecompenseerd wordt door de vruchtbaarheid van de grond. Mogelijk kan door verdamping in het groeiseizoen dankzij de lage waterdoorlaatbaarheid van klei het grondwaterpeil enigszins zakken ten opzichte van het grachtwaterpeil.



Figuur 4.3 Voorbeeld profiel met lichte klei; langs lage kades is de grondwaterstand nog hoger.

Indien de rijbaan ingevuld blijft met verdicht zand kan hier geen ruimtewinst gevonden worden. Mogelijk is toepassing van een licht granulaat een optie om de rijbaan geschikt te maken als groeiplaats (zie volgende paragraaf).

4.2.4 Vervanging bij kademuurrenovatie of herinrichting maaiveld

Zodra het maaiveld vervangen wordt, kademuuren gerenoveerd of vervangen worden, is het efficiënter, in het bijzonder als de bomen langs de kademuur in slechte of matige conditie verkeren, de bomen te verwijderen en binnen het project de kade als groeiplaats opnieuw in te richten. Bij voorkeur wordt dan de grond tussen kademuur en gevel uitgewisseld. Het is in principe mogelijk om onder de rijbaan een licht granulaat (lagere soortelijke massa) zoals lava of geëxpandeerde kleikorrels toe te passen ([CROW 2013](#)).

De benodigde hoeveelheid poriën in de bodem voor wortelgroei bedraagt voor humusarm zand tenminste 40% (Stadbomen Vademecum 2A). De lichte granulaten in de tabel hebben als voordeel dat de poriën in het substraat meer beschikbaar blijven voor wortelgroei terwijl in verdicht zand sprake is van een sterke vermindering aan poriënvolume. Deze granulaten zijn in verschillende samenstelling leverbaar, waardoor de exacte eigenschappen iets verschillen. Na verdichting lijkt het lavagranulaat het

grootste poriënvolume te hebben (kleikorrels rond: 43-13 à 16 = 27-30% poriën, verdichte gebroken kleikorrels: 25-26%), maar vanwege de hoge waterdoorlaatbaarheid van de kleikorrels zorgt dit voor de beste drainerende werking waardoor de poriën netto meer lucht bevatten.

De meeste kabels en leidingen zullen - gezien in een dwarsdoorsnede van het profiel - liggen aan de zijde van de gevels waarbij de riolering vaak centraal in de rijbaan ligt. Ondergrondse infrastructuur zoals riolering wordt normaal gesproken omgeven door een zandbed, maar wordt in projecten ook aangevuld met geëxpandeerde kleikorrels, specifiek op plekken waar de druk van de grondmassa / mate van verzakking verminderd moet worden zoals in veengebieden (bijvoorbeeld Gouda).

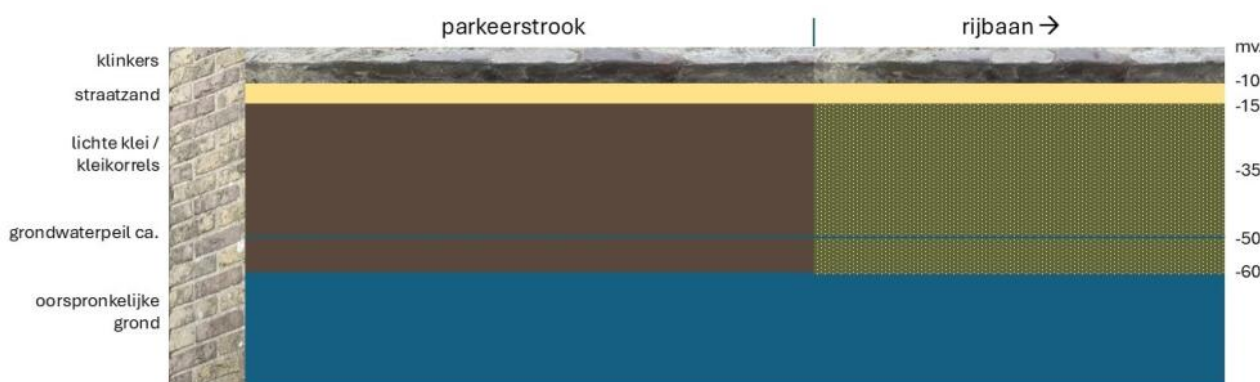
Tabel 4.1 vergelijking eigenschappen mogelijk geschikte substraten voor wortelgroei onder de rijbaan (bronnen: TGS, Argex)

	lavagranulaat	geëxpandeerde kleikorrels	straatwand 0,15-0,3 mm korrelgrootte
soortelijke massa nat & verdicht (kg/m ³)	1600-1760	651-753 (rond) / 767-1008 (gebroken); 1182-1234 verzadigd (rond); 1335 verzadigd (gebroken)	ca. 1800
draagkracht (MN/m ² = MPa)	> 45 MN/m ² statisch verdicht	1,2-2,5 MN/m ² verbrijzelweerstand (ronde korrels)	verkeersklasse D: 0,4 MN puntbelasting
poriënvolume verdicht	30-35%	tussen korrels ca. 43% / gebroken 47-52%; volumeafname korrels bij verdichting 13-16% / gebroken korrels 22-26%	95-98% proctordichtheid; tot 20% inklinking volume
organische stof	> 2%	onbekend	< 2%
lutum/kleifraction	onbekend	onbekend, maar < 2,4% < 63 µm korrelgrootte (silt & lutum); hoger bij gebroken korrels	0%
waterdoorlaatbaarheid (cm/s)	ca. 0,005	korrels 1,8-2,5 gebroken 0,045	fijn zand < 0,12 drainagezand < 0,29
vereiste laag boven grondwater	≥ 15 cm drainagezand	n.v.t.	zandbed

Geëxpandeerde kleikorrels worden ook toegepast in daktuinen waar zelfs bomen in geplant worden. De combinatie van een smalle groeiplaats achter de kade muur in de parkeerstrook en geëxpandeerde kleikorrels in de rijbaan (met gebroken kleikorrels als alternatief voor straatwand onder de klinkers) tot de gevels is een mogelijk alternatief dat de meeste ruimtewinst voor wortelgroei zou kunnen opleveren vanwege het relatief hoge percentage beschikbare poriën (hydrocultuur langs de gracht). Het groeimedium (bv. klei) en de kleikorrels zouden daarbij niet door geotextiel gescheiden mogen worden. Maar deze inrichting zal eerst civieltechnisch moeten worden uitgewerkt. Omdat de kleikorrels vanwege de macroporiën een drainerende functie hebben kan mogelijk de sterkere capillaire werking

van de klei in de parkeerstrook door de korrels gecompenseerd worden.

Uitgaande van 3 m breedte tot de riolering als permanente groeiplaats levert dit extra ondergronds volume voor wortelgroei en zou de groeiplaats circa twee keer groter worden (bij verdubbeling plantafstand 4x). De lichte granulaten nemen weliswaar ook ruimte in, maar per saldo blijft er veel meer ruimte over dan in verdicht zand. Het is vooralsnog niet duidelijk wat de vruchtbaarheid van de lichte granulaten is. Het lavagranulaat bevat organische stof wat hieraan indirect bijdraagt, maar het aandeel lutum is onbekend. Voor de kleikorrels is de organische stof onbekend en is beperkt lutum aanwezig. Gebroken geëxpandeerde kleikorrels bevatten logischerwijs meer fijne bodemdeeltjes (silt- en lutumfractie) waardoor de vruchtbaarheid hoger is. Het is daarom verstandig om verschillende substraten onafhankelijk te testen in een laboratorium.



Figuur 4.4 Voorbeeld profiel lichte klei en kleikorrels in de rijbaan

4.3 Sortiment

Het huidige assortiment op de onderzochte grachten bestaat uit inheemse bomen (Hollandse linde) en uitheemse kruisingen (hybride iepen en de hybride Spaeth els).

Voor nieuwe aanplant geldt de voorkeur gebruik te maken van historisch assortiment (autochtoon / inheems / oude rassen; voor iep lastiger beheersbaar i.v.m. iepziekte). Dit combineert de doelstellingen cultuurhistorie en biodiversiteit, zoals Hollandse iep (*Ulmus x hollandica* 'Belgica'), Hollandse linde (*Tilia x europaea*; cultivars koningslinde en Krimlinde staan al in de binnenstad), zomer- en winterlinde. Meer waterminnende inheemse soorten zijn fladderiep (*Ulmus laevis*; minder aantrekkelijk voor iepenspintkever), veldesdoorn (*Acer campestre*), haagbeuk (*Carpinus betulus*), vogelkers (*Prunus padus*), zachte berk (*Betula pubescens*), zwarte els (*Alnus glutinosa*), waterwilg (*Salix caprea*), laurierwilg (*Salix pentandra*) en schietwilg (*Salix alba*; bijvoorbeeld als knotwilg). Water- en laurierwilg, vogelkers, haagbeuk (cultivars) en veldesdoorn zijn kleine bomen (tot 10-12 m, ook knotwilg), zachte berk en zwarte els zijn middelgrote bomen (tot ca. 15 m) terwijl de lindes, iepen en schietwilg (normale habitus) nog groter worden als de groeiplaats het toelaat. Zwarte populier (*Populus nigra*) zou in theorie ook kunnen gedijen maar populieren worden vanwege natuurlijke oppervlakkige wortels niet in de bestrating aangeplant.

Moderner assortiment in de traditie van historische aanplant zijn cultivars van zwarte els en de kleinbladige iep (Amerikaanse hybride *Ulmus* 'Rebella') die vermoedelijk steriel is (geen zaad), *Ulmus* 'Rebona' (> 15 m, hybride van Aziatische iepen) met geringe bloei en zaadproductie (beide iepen dragen minder bij aan de biodiversiteit) en *Ulmus* 'Nanguen' (Lutèce; tot 15 m, hybride van 3 soorten waarvan 2 inheems iepen) is geschikt voor een natte bodem. De uit Zuid-Europa afkomstige hartbladige els (*Alnus*

cordata, tot 15 m) is een optie voor natte omstandigheden en vermoedelijk beter aangepast aan warmere omstandigheden.

Voor de lage kades wordt sortiment tot 10 (12) m boomhoogte geadviseerd (bomen van de 3^e grootte: waterwilg, laurierwilg, knotwilg, haagbeuk cultivars, vogelkers en veldesdoorn (cultivars)). Op de middelhoge kades kan gekozen worden voor waterminnende bomen tot een hoogte van 15 m (2^e grootte: zachte berk, zwarte els (cultivar), hartbladige els, *Ulmus* 'Nanguen' en *Liquidambar styraciflua* 'Moraine') en aan de hoge kades en brughoofden kunnen bomen van de 1^e grootte worden geplant (> 15 m).

Bij de keuze van specifieke cultivars (o.a. *Ulmus*, *Liquidambar* en *Tilia*) is het van belang dat er gekozen wordt voor stekken die op eigen wortels gekweekt worden om onverenigbaarheid van de ent in de toekomst te voorkomen.

Tabel 4.2 Sortiment en type kade

sortiment	kade >	hoog	middel	laag
historische / autochtone aanplant		x	x	x
modern sortiment in traditie historische aanplant		x	x	x
modern sortiment op basis van kroonvolume		x	x	

→ 4.4 Plan van aanpak / overig advies

Puntsgewijs worden de volgende zaken geadviseerd.

- Keur de bomen op de kades van de binnenstad als nul-meting (conditie, kwaliteit en gebreken). Hiermee kan worden bepaald waar boombehoud nog zinvol is, of jonge bomen goed verplantbaar zijn (naar tijdelijk depot) en waar het zinvoller is de groeiplaats in de kade opnieuw in te richten bij eerstvolgende gelegenheid (projectprogrammering). Gebruik dit als uitgangspunt in een plan van aanpak.
 - Verwijder boom 19.916 (Achterom) binnen 6 maanden (ernstige gebreken, verhoogde zorgplicht).
 - Indien de elzen aan het Achterom voorlopig behouden blijven, beschouw ze als attentiebomen vanwege een nog nader te determineren aantasting aan de stamvoeten (cambiumnecrose, verhoogde zorgplicht).
 - Beoordeel de iepen en lindes op mogelijke onverenigbaarheid van de ent zoals algemeen voorkomt in de rassen *Ulmus x hollandica* 'Groeneveld' (o.a. Molslaan), *U. x hollandica* 'Commelin' en *U. x hollandica* 'Vegeta', *Tilia x europaea* 'Zwarte Linde', 'Euchlora' en koningslinde (elders in de binnenstad). Een slechte kwaliteit leidt tot instabiliteit.
- Omdat delen van de binnenstad autoluw worden ingericht of dat al zijn, is het mogelijk om de norm van verkeersklasse 4 / D te verlagen. Onderzoek of het mogelijk is m.b.v. regulering (contracten) lichtere vuilniswagens, verhuishwagens, vrachtwagens voor bevoorrading van winkels, etc. in te zetten. Dit heeft invloed op de civieltechnische eisen voor de draagkracht van de bodem en de kansen op het succesvol vergroten van de groeiplaatsen voor bomen. Toepassing van een licht granulaat vergroot de kans op voldoende draagkracht terwijl de verkeersbelasting toch (incidenteel) hoog is (bv. brandweer).

- Het algemene advies is de groeiplaats per boom zo groot mogelijk te maken zodat bomen volwassen kunnen worden en ecosysteemdiensten significant worden. Dit draagt bij aan een klimaatbestendige binnenstad en per saldo ook aan de biodiversiteit die de volwassen boom als gastheer biedt aan insecten, vogels en vleermuizen (voedsel en verblijfplaats).
- Spreek de aannemer aan die de groeiplaatsen in de Geerweg foutief heeft aangelegd (voldoet niet aan de eisen). Het zal opnieuw ingericht moeten worden waarbij het humusrijke zand niet mag worden hergebruikt. Maak van de nood een deugd en beoordeel of deze locatie geschikt zou zijn als proeftuin voor een invulling met klei & licht granulaat tussen kademuur en gevels. Want, de condities onder de rijbaan kunnen niet slechter zijn (optrekkend vocht tot aan de klinkers) zodat het aannemelijk is dat grondwater zijdelings uit de huidige rijbaan in het groeimedium (boomspiegels en parkeerstrook) trekt en de nieuwe aanplant verloren gaat.