

Landschapselementen ter verbetering van de luchtkwaliteit rond de Ruit van Rotterdam

Een haalbaarheidsstudie

A.E.G. Tonneijck & M. Blom-Zandstra

**Plant Research International B.V.,
Wageningen**

Report 10000

MR-150

© 2002 Wageningen, Plant Research International B.V.

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Plant Research International B.V.

Bronvermelding: figuur voorblad uit Robinette, 1972.

Plant Research International B.V.

Adres : Droevendaalsesteeg 1, Wageningen
: Postbus 16, 6700 AA Wageningen
Tel. : 0317 - 47 70 00
Fax : 0317 - 41 80 94
E-mail : post@plant.wag-ur.nl
Internet : <http://www.plant.wageningen-ur.nl>

Inhoudsopgave

	pagina
Samenvatting	1
1. Inleiding	3
2. Verkeersgerelateerde luchtverontreiniging	5
3. Opname van luchtverontreiniging door planten	7
3.1 De plant	7
3.2 De vegetatie	8
4. Planten verbeteren luchtkwaliteit rond verkeerswegen	11
5. Landschapselementen en luchtzuivering	15
6. De groeiomstandigheden	17
7. Evaluatie	21
8. Conclusies en aanbevelingen	23
Literatuur	25
Bijlage I. Inheemse soorten die algemeen voorkomen in hagen en bossen, en relevante eigenschappen	4 pp.

Samenvatting

Het verkeer op 'De Ruit rond Rotterdam', de ringweg die bestaat uit de A20, A15, A16 en de A4, is een bron van vervuiling van de lucht. Rond de Ruit zijn er veel ongeplande ruimten, de zogenaamde rest-ruimten. In deze ruimten zouden landschapselementen kunnen worden aangelegd ter verbetering van de lokale luchtkwaliteit. In dit rapport wordt nader ingegaan op de haalbaarheid van het gebruik van landschapselementen als zuiveraars van de lucht rond de Ruit mede gelet op de soms extreme groeiomstandigheden in de restruimten. De aandacht is speciaal gericht op stikstofdioxiden (NO_x) en fijn stof.

Planten hebben de eigenschap om effectief gasvormige en deeltjesvormige luchtverontreiniging via de bladeren op te nemen. De mate van effectiviteit verschilt tussen planten en is naast de hoeveelheid blad onder andere afhankelijk van de aard van de luchtverontreinigingscomponent. Naaldbomen nemen relatief veel fijn stof en vluchtige organische verbindingen op terwijl loofbomen met brede bladeren vooral gasvormige verontreinigingen als NO_x en ozon absorberen.

Voor verbetering van de luchtkwaliteit is de structuur van een landschapselement minstens zo belangrijk, zo niet belangrijker dan de samenstellende delen. Structurele aspecten als de hoogte, de ruwheid, de 'porositeit' (maat voor de doordringbaarheid van lucht) en de aanwezigheid van randen bepalen in hoge mate de depositie van verontreiniging uit de lucht. Idealiter bestaan landschapselementen uit lagen van hoge bomen, struiken en lage vegetatie. Loof- en naaldbomen zijn een essentieel bestanddeel waarbij naaldbomen nog het voordeel hebben dat ze het hele jaar door hun naalden behouden.

Onderzoek heeft aangetoond dat landschapselementen zoals windsingels en hagen de luchtkwaliteit rond wegen aantoonbaar kunnen verbeteren. De beschikbare metingen laten zien dat landschapselementen concentraties van verkeersgerelateerde luchtverontreiniging globaal met 10 tot 30% kunnen verlagen. Dit geldt zowel voor NO_x als voor fijn stof. In aanwezigheid van landschapselementen nemen de concentraties beduidend sneller met de afstand tot de verkeersweg af dan in afwezigheid van beplanting. De positieve invloed van bomen in steden op het niveau van verkeersgerelateerde luchtverontreiniging is ook gedocumenteerd met name voor deeltjesvormige luchtverontreiniging.

De soms extreme groeiomstandigheden rond de Ruit vormen geen beletsel voor de eventuele aanleg van landschapselementen. De belangrijkste beperkende factoren zijn teveel of te weinig water en te weinig stikstof. Er zijn plantensoorten die onder deze omstandigheden kunnen groeien. Daarnaast zijn eventueel eenvoudige oplossingen denkbaar. Bepaalde planten kunnen ook nog deel worden van de oplossing. Zo kan het probleem van te weinig stikstof worden opgelost door te kiezen voor leguminesen, planten die stikstof uit de lucht vastleggen.

Landschapselementen verbeteren de luchtkwaliteit rond verkeerswegen. Voor de aanleg of optimalisering van landschapselementen is het opportuun om te bekijken welke soorten reeds aanwezig zijn in de verschillende milieus rond de Ruit en er goed gedijen. Een volgende stap zou dan kunnen zijn om de aanwezige beplanting te optimaliseren voor verbetering van de lokale lucht- en bodemkwaliteit. Hiertoe moet op locatie informatie worden verzameld. Nader onderzoek op locatie is ook van belang om vast te stellen of landschapselementen kunnen voorkomen dat normen voor luchtkwaliteit worden overschreden.

1. Inleiding

Het verkeer op 'De Ruit rond Rotterdam', de ringweg die bestaat uit de A20, A15, A16 en de A4, is een bron van vervuiling van lucht, bodem en water en van geluidsoverlast. De Ruit legt een stevige claim op de fysieke leefomgeving en er zijn veel ongeplande ruimten: restruimten. Een van deze restruimten is het 'Muizengaatje' waar rietplanten als filter worden ingezet voor de voorzuivering van afstromend (riool)water.

Naar analogie van dit idee is de mogelijkheid geopperd om planten eveneens in te zetten tegen vervuiling van de lucht. Op verzoek van het Centrum Beeldende Kunst van Rotterdam werden eerder in een korte notitie van Plant Research International (Tonneijck *et al.*, 2001) de mogelijkheden hiertoe besproken en werd aangegeven welke informatie nog nodig was om een verantwoorde uitspraak over de haalbaarheid te doen.

Overleg over deze nota op 13 juni met een aantal betrokken partijen leidde tot de conclusie dat met name meer informatie gewenst is over de concrete capaciteit van planten om de luchtkwaliteit te verbeteren. Op verzoek van Gemeentewerken Rotterdam wordt in dit rapport nader ingegaan op de haalbaarheid van het gebruik van landschapselementen als zuiveraars van de lucht rond de Ruit. Hoewel de studie in principe betrekking heeft op alle verkeersgerelateerde luchtverontreinigingscomponenten, is de aandacht speciaal gericht op stikstofoxiden (NO_x) en fijn stof. Informatie diende te worden verzameld over eigenschappen van planten met betrekking tot:

1. Absorptie en adsorptie van luchtverontreiniging
2. Fysieke invloed op luchtkwaliteit rond snelwegen en
3. Eventuele geschiktheid voor aanplant rond de Ruit gelet op de verschillende groeiomstandigheden.

De opzet van het rapport is als volgt: in Hoofdstuk 2 wordt nader ingegaan op de samenstelling van verkeersgerelateerde luchtverontreiniging. In Hoofdstuk 3 wordt beschreven op welke wijze planten en vegetaties de luchtkwaliteit kunnen beïnvloeden en welke factoren daarbij een rol spelen. Hoofdstuk 4 geeft concrete informatie over geconstateerde verbetering van de luchtkwaliteit door landschapselementen gericht op het wegverkeer. Criteria voor het luchtzuiverende effect van landschapselementen worden in Hoofdstuk 5 gepresenteerd terwijl de eventuele geschiktheid van plantensoorten voor aanplant rond de Ruit gelet op de verschillende groeiomstandigheden in Hoofdstuk 6 worden gegeven. In Hoofdstuk 7 wordt de gepresenteerde informatie geëvalueerd. Hoofdstuk 8 vat de belangrijkste conclusies samen en geeft enkele aanbevelingen.

2. Verkeersgerelateerde luchtverontreiniging

Voorals in stedelijk gebied vormt het verkeer de belangrijkste bron van luchtverontreinigingscomponenten zoals koolstofmonoxide (CO), stikstofoxiden (NO_x; de som van NO+NO₂), vluchtige organische stoffen (VOS) en stofdeeltjes. Uit deze verbindingen kunnen volproducten ontstaan zoals ozon (O₃). Met name de concentraties van NO_x en fijn stof leveren risico's op voor de volksgezondheid.

Bij verbranding wordt primair NO gevormd. Oxidatie van NO door zuurstof en ozon vormt vervolgens NO₂. De reactie met ozon wordt beschouwd als het belangrijkste mechanisme voor de vorming van NO₂ in de atmosfeer. Concentraties van NO₂ in de lucht zijn de resultante van de boven omschreven vorming en de afbraak tot NO en atmosferisch zuurstof bij golflengten lager dan 440 nanometer. Als gevolg hiervan is de verhouding tussen NO en NO₂ niet constant. De hoeveelheid NO in het totale mengsel van NO_x is in de directe omgeving van een verkeersweg groter dan op enige afstand. Stikstofmonoxide kan zo'n 80% uitmaken van het totaal aan NO_x in straatlucht, terwijl de achtergrondbelasting gelijke hoeveelheden van NO en NO₂ bevat (Nielsen *et al.*, 1996).

De laatste jaren gaat veel aandacht uit naar de gezondheidseffecten van fijn stof. Fijn stof dat ook wel wordt aangeduid als PM10 (deeltjes met een aerodynamische diameter kleiner dan 10 micrometer), wordt direct geëmitteerd of gevormd uit verzurende stoffen zoals NO_x, SO₂ en NH₃. Fijn stof omvat een bonte verzameling van deeltjes die variëren in grootte en chemische samenstelling. In de stedelijke leefomgeving kan wel tot 90% van de aanwezige fijn stof concentratie afkomstig zijn van het verkeer (Watkins, 1991). Verkeersgerelateerd fijn stof kan aanzienlijke hoeveelheden van verschillende metalen bevatten die op zich ook weer negatieve effecten kunnen hebben.

Naast NO_x en fijn stof vereisen ozon (O₃) en vluchtige organische stoffen (VOS) nadere aandacht. Deze componenten worden in dit rapport verder aangeduid met overige verbindingen. Ozon op leefniveau wordt niet geëmitteerd maar wordt gevormd uit NO_x en VOS onder invloed van zonlicht. Het niveau van O₃ is dichtbij de weg lager dan op enige afstand en is in de zomer hoger dan in de winter. Ozon is schadelijk voor de volksgezondheid en de vegetatie. Wegverkeer is een belangrijke bron van VOS zoals polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAKs) en dioxinen. Deze componenten kunnen door planten worden opgenomen en vormen onder andere via de voedselketen een mogelijk gevaar voor de volksgezondheid.

3. Opname van luchtverontreiniging door planten

3.1 De plant

Planten kunnen een groot scala aan luchtverontreinigingscomponenten opnemen. Accumulatie van componenten in bovengrondse plantendelen is veelvuldig aangetoond. Deze eigenschap van planten wordt al vele decennia gebruikt om de situatie van de luchtkwaliteit, bijvoorbeeld rond die van bronnen van luchtverontreiniging, te volgen (zie bijv. Posthumus, 1982).

Planten kunnen gasvormige luchtverontreinigingscomponenten zowel via de huidmondjes als via de cuticula opnemen. De cuticula is het buitenste laagje van het blad dat bestaat uit een vetachtige substantie en dat de plant onder andere beschermt tegen uitdroging. Huidmondjes zijn afsluitbare openingen in het blad waardoorheen continu gasuitwisseling tussen blad en omgeving plaatsvindt.

NO_x

De stikstofoxiden komen voornamelijk via de huidmondjes de planten binnen (Lendzian & Kerstiens, 1991). Opname via de cuticula (adsorptie) is wel mogelijk maar veel minder belangrijk.

Het functioneren van huidmondjes is afhankelijk van veel factoren zoals plantensoort en uitwendige omstandigheden (weer, bodem). Zo zullen de huidmondjes meer open zijn gedurende de dag dan gedurende de nacht en onder vochtige omstandigheden meer dan onder droge omstandigheden. Plantensoorten met veel actieve huidmondjes per eenheid bladoppervlak nemen relatief veel gasvormige componenten uit de lucht op. Dit betreft vooral planten met brede en dunne bladeren. Een groot bladoppervlak per eenheid grondoppervlak is natuurlijk ook gunstig voor de opname door de plant. Volgens Hanson & Lindberg (1991) en Hanson *et al.* (1989) is de opname van NO₂ en NO door actief groeiende planten als volgt:

1. Planten met brede en dunne bladeren zijn even effectief als gewassen maar effectiever dan coniferen;
2. Bomen met brede bladeren nemen meer op dan gewassen.

Binnen een groot concentratiebereik neemt de opname van NO₂ door planten proportioneel toe en die van NO neemt lineair toe met een toenemende concentratie. Planten zijn dus goed in staat om NO_x uit de lucht te filteren over een groot concentratietraject.

Fijn stof

Depositie van fijn stof op bladeren kan op verschillende manieren plaatsvinden en hiervan is een aantal gelijk aan die voor andere luchtverontreinigingscomponenten. Deeltjes moeten direct met het blad in contact komen dan wel dicht genoeg bij het blad zijn om elektrostatisch te worden aangetrokken. Dit mechanisme wordt versterkt wanneer een laminaire luchtstroom verstoord wordt door een ruw oppervlak (Beckett *et al.*, 2000b). Depositie van stof is optimaal wanneer de bladeren vochtig zijn, een ruw en/of behaard bladoppervlak bezitten en elektrostatisch geladen zijn (Pye, 1987). De effectiviteit van opname van deeltjes door bomen is toegenomen indien de oppervlaktes van bladeren en schors ruw of 'plakkerig' zijn (Beckett *et al.*, 1998). Voor fijn stof is vooral de ruwheid van het oppervlak belangrijk (Chamberlain, 1975). Afgevangen fijn stof kan worden verwijderd door neerslag. Ook door wind kan fijn stof van het blad verwijderd worden, alleen zijn hier wel relatief hoge windsnelheden voor nodig.

Alle onderzochte bomen zijn in staat fijn stof af te vangen (Beckett *et al.*, 2000a). Coniferen zijn effectiever dan bomen met brede bladeren (loofbomen). Soorten van het geslacht *Pinus* (den) zijn effectiever dan cypressen. Hoewel coniferen effectiever fijn stof afvangen dan loofbomen, zijn loofbomen juist meer geschikt voor het absorberen van gasvormige luchtverontreiniging.

Overige verbindingen

Bladeren nemen ozon volledig op via de huidmondjes. Er is geen opname via de cuticula. Wel kan ozon aan het bladoppervlak worden afgebroken. Plantensoorten die goed zijn voor de opname van NO_x , zijn ook goed in staat om veel ozon op te nemen.

Voor veel organische componenten vormt de cuticula de belangrijkste route van opname. Dit proces noemen we adsorptie en het geldt met name voor die componenten die niet in water oplosbaar zijn. De route via de cuticula heeft als consequentie dat de opname van deze componenten gedurende de nacht wanneer de huidmondjes gesloten zijn, en in de wintermaanden wanneer de planten weinig actief zijn, gedeeltelijk doorgaat.

Veel factoren spelen een rol bij de opname en distributie van organische verbindingen in planten. Planteigenschappen zoals vorm en chemische karakteristieken van bladeren en de hoeveelheid vetachtige substantie in de cuticula zijn belangrijk. Plantensoorten met relatief veel blad en een dikke cuticula zijn zeer geschikt voor het wegvangen van dit type organische componenten (Debus *et al.*, 1989). Hierbij kunnen we denken aan planten als coniferen en bijvoorbeeld boerenkool. Er is vooralsnog geen bewijs dat de aanwezigheid van componenten in de cuticula de functie hiervan negatief beïnvloedt (Lendzian & Kerstiens, 1991).

3.2 De vegetatie

Depositie is een belangrijk proces ter vermindering van atmosferische concentraties van luchtverontreinigingscomponenten. Bodem en vegetatie vormen een groot oppervlak voor het opnemen van luchtverontreiniging en vervullen een wezenlijke rol bij de transfer van verontreiniging uit de atmosfeer naar de biosfeer. Dit geldt met name voor vegetaties aangezien het oppervlak aan bladeren vele malen groter is dan het oppervlak van de onderliggende bodem. Depositie naar de vegetatie wordt gecontroleerd door atmosferische turbulentie, fysische en chemische eigenschappen van de component, de aanwezigheid van een gradiënt in concentratie tussen de atmosfeer en de vegetatie en de aard en activiteit van plantoppervlakten (Hanson & Lindberg, 1991). De soortsaanstelling van de vegetatie is van belang. Het zal duidelijk zijn dat de aandacht hierbij vooral uitgaat naar de aanwezigheid van bomen. Bomen verwijderen stof en andere verontreinigingen beter dan andere planten (Bradshaw *et al.*, 1995). Depositie van stof uit de atmosfeer is op een bos zo'n 2 tot 16 maal groter dan op een lage vegetatie.

Oneffenheden in het landschap spelen een belangrijke rol. Een goed voorbeeld is de verhoogde depositie van luchtverontreiniging bij bosranden hetgeen zich uit in hogere concentraties van componenten in planten aan dergelijke randen. Het planmatig aanbrengen van oneffenheden en randen kan de depositie substantieel vergroten (Franzaring & Van Dijk, 2000).

Oneffenheden zoals een bomenrij verminderen de windsnelheid en verhogen ter plekke de turbulentie. Bomen reduceren de windsnelheid tot een afstand van wel 50 maal de hoogte (Heisler & De Walle, 1988). De passieve invloed van een bosrand op het windpatroon is mogelijk belangrijker voor de verhoogde depositie van luchtverontreiniging dan de actieve rol van bomen om verontreinigingen op te nemen (Geiger, 1950; geciteerd in Robinette, 1972). Vanwege het belang van dit randeffect moeten bomen dan ook zoveel mogelijk boven de weg uitgroeien.

De effectiviteit van landschapselementen ter verbetering van de luchtkwaliteit ter plekke is niet alleen afhankelijk van planthoogte en opnamecapaciteit van de aanwezige plantensoorten. Ook aspecten als de 'ruwheid' van het element en de 'porositeit' (maat voor doordringbaarheid van verontreinigde lucht) zijn belangrijk. De zuiverende werking is beter wanneer de lucht tot in het landschapselement kan doordringen dan wanneer de lucht bij de rand wordt tegengehouden zoals bij een geluidsscherm. De mate van ruwheid bepaalt de mate van turbulentie; hoe groter de ruwheid hoe meer turbulentie en dus depositie.

4. Planten verbeteren luchtkwaliteit rond verkeerswegen

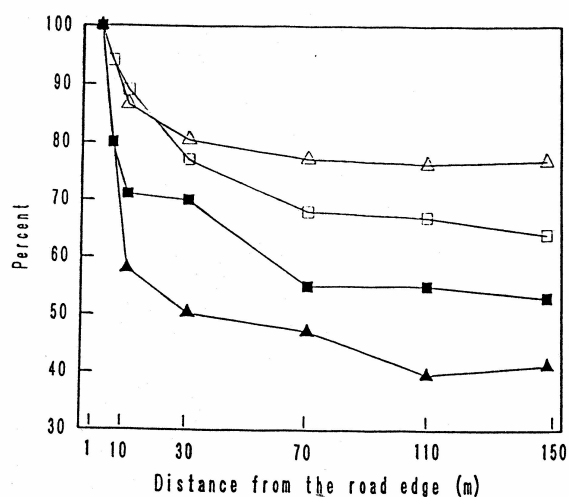
Het volgende kan nu worden vastgesteld.

1. Planten nemen luchtverontreinigingen op;
2. De effectiviteit van deze opname verschilt tussen plantensoorten en hangt af van de aard van de luchtverontreinigingscomponent;
3. Met name bomen zijn effectief als gevolg van het grote bladoppervlak en de randeffecten die resulteren in een verhoogde depositie aan bosranden.

Studies met betrekking tot emissies van het wegverkeer hebben aangetoond dat landschapselementen (zogeheten 'green barriers' of 'buffer plantings') effectief de invloed van gasvormige en deeltjesvormige luchtverontreiniging kunnen verminderen (Freer-Smith *et al.*, 1997). Dikwijls is echter bij de beschreven studies niet vastgesteld hoeveel de luchtconcentraties werden verlaagd door de aanwezigheid van planten en landschapselementen. In dit hoofdstuk worden nu enige relevant geachte studies aangehaald die zijn ingegaan op de effectiviteit van beplantingen om verkeersgerelateerde luchtverontreiniging rond wegen te verminderen.

NO_x

Nasrullah *et al.* (1994) bestudeerden het effect van beplanting langs snelwegen op de verspreiding van NO₂. Beplantingen met bomen van maximaal 15 tot 20 meter hoogte op het niveau van de weg reduceerden de NO₂ concentratie in belangrijke mate tot op een afstand van 150 meter. Op 5, 10, 30, 70, 110 en 150 meter afstand van de weg was de reductie door de beplanting respectievelijk circa 13, 17, 7, 13, 12 en 11% (Figuur 1). De afname in concentratie met toenemende afstand tot de weg was in aanwezigheid van beplanting gemiddeld circa 12% groter dan die in open terrein. De effectiviteit van de beplanting was bij kalm weer ruwweg twee maal zo groot als op winderige dagen. Dit geldt ook voor andere componenten zoals SO₂.

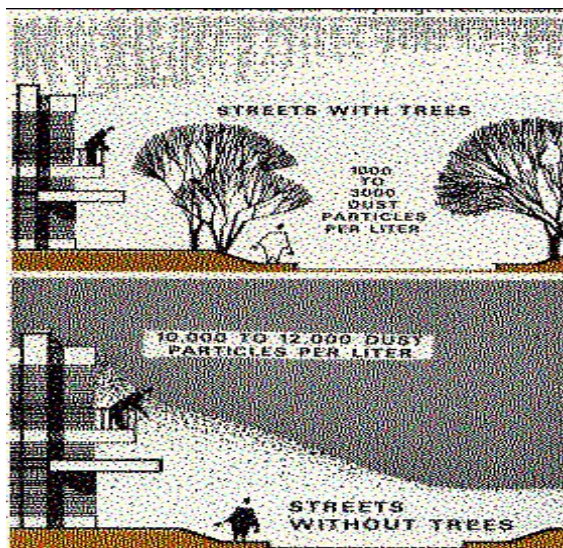


Figuur 1. Afname in concentratie van NO₂ door beplanting op verschillende afstanden van de rand van een verkeersweg (Nasrullah *et al.*, 1994). ■ beplanting op winderige dagen; ▲ beplanting bij kalm weer; □ open terrein op winderige dagen; △ open terrein bij kalm weer.

Fijn stof

Planten spelen een belangrijke rol bij het verwijderen van stof uit de atmosfeer. Volwassen bomen kunnen op zeker moment wel 18 kilogram aan stofdeeltjes wegvangen (McPherson, 1990). De aanplant van bomen en van windsingels kan de luchtkwaliteit in verblijfsgebieden verbeteren (Beckett *et al.*, 1998; Broadmeadow *et al.*, 1998). Het bladerdek van bossen is effectiever bij het afvangen van deeltjes dan elk ander type vegetatie vanwege de grotere ruwheid van het afvangende oppervlak (Manning & Feder, 1980).

In Figuur 2 is te zien dat in straten met bomen 3000 stofdeeltjes per volume eenheid lucht voorkomen, terwijl lucht in straten zonder bomen in dezelfde wijk van de stad 10.000-12.000 deeltjes kan bevatten (Robinette, 1972).



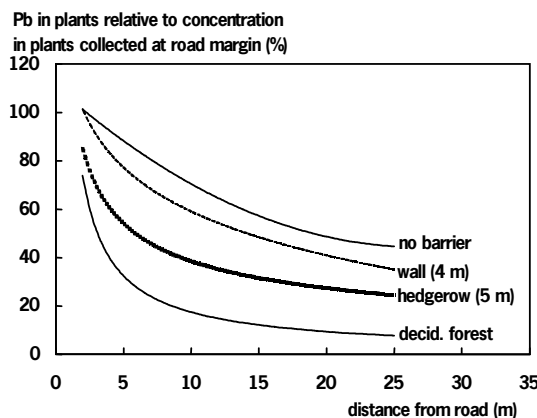
Figuur 2. Aantal deeltjes per liter lucht in straten met en zonder bomen (uit Robinette, 1972).

Onder bomen kan de depositie van stof wel tot 38% zijn gereduceerd ten opzichte van de depositie in open terrein (Dochinger, 1980). De effectiviteit van de bomen om stof af te vangen is in stedelijk gebied even groot als in landelijk gebied. Vooral de aanplant van bomen ('buffer plantings') is belangrijk om de lucht te reinigen.

Windsingels (berk, eik, grove den) spelen een belangrijke rol bij de depositie van koper, lood en zink naar bodem en vegetatie langs een snelweg (Heath *et al.*, 1999). Concentraties van zware metalen in bodem en vegetatie vormen een goede indicatie voor de verspreiding van deeltjes en fijn stof van het wegverkeer. De atmosferische depositie van de verschillende metalen is relatief groot direct langs de snelweg en in de bodem van de windsingel. Achter de windsingel dalen de gehalten van de verschillende metalen snel met toenemende afstand tot de windsingel. Vooral bomen zoals de grove den vangen metalen af.

In Figuur 3 wordt de invloed van verschillende typen barrières op de verspreiding van deeltjes rond een snelweg nog eens onderstreept aan de hand van metingen van loodconcentraties in de vegetatie. De loodconcentratie neemt onder alle omstandigheden af met toenemende afstand tot de weg. De snelheid van afname in aanwezigheid van hagen en bomen is met name in de eerste 10 tot 15 meter van de weg veel groter dan die in open terrein en ook groter dan die in aanwezigheid van een 4 meter hoog geluids-

scherm. Op 25 meter afstand van de snelweg bedraagt de loodconcentratie in planten in afwezigheid van een barrière ongeveer 45% van die in planten dicht bij de snelweg. In aanwezigheid van hagen en loofbos is dit gedaald tot ongeveer 20% respectievelijk 5%.



Figuur 3. Effecten van verschillende typen barrières ('no barriers', geen barrière; 'wall', geluidsschermen; 'hedgerows', hagen; deciduous forest, loofbos) op de concentratie van lood in planten op verschillende afstanden ten opzichte van dat in planten direct langs snelwegen in Baden-Württemberg (naar gegevens van Schweikle, 1999).

Overige verbindingen

Ook ozon wordt effectief weggevangen uit de lucht. Wanneer een hoeveelheid lucht met 150 ppb ozon een bos met bomen van 4 tot 5 meter hoogte passeert, blijkt 60 tot 90 ppb van de ozon weggevangen te worden indien de lucht 1 uur stil staat boven het bos (Robinette, 1972). Indien de lucht 8 uur stil staat, is de reductie zelfs 120 ppb. Hogere bomen zijn hierbij effectiever dan lagere en de effectiviteit neemt toe met toename in hoeveelheid en grootte van de huidmondjes.

Landschapselementen kunnen aantoonbaar VOS opnemen. De mechanismen zijn hierbij goeddeels gelijk aan die voor NO_x en fijn stof. Aangezien het bij VOS gaat om een groot scala aan verschillende verbindingen met sterk verschillende chemische eigenschappen is het moeilijk om informatie te geven over de effectiviteit waarmee planten verkeersgerelateerde VOS afvangen. Er is ook heel weinig onderzoek naar gedaan. Wel is aangetoond dat de vegetatie verspreid over een groot gebied (urbaan, sub-urbaan, landelijk) ongeveer 4% afvangt van de in de lucht voorkomende PAKs (Wagrowski & Hites, 1997).

De effectiviteit

De beschikbare metingen laten zien dat landschapselementen concentraties van verkeersgerelateerde luchtverontreiniging globaal met 10 tot 30% kunnen verlagen. De werkelijke effectiviteit is onder andere afhankelijk van de luchtverontreinigingscomponent en van de afstand tot het landschapselement. Hierbij dient ook te worden vermeld dat het gerapporteerde onderzoek is uitgevoerd in bestaande situaties van emissies en beplanting; er zijn geen gegevens over de effectiviteit van beplantingen die speciaal zijn aangelegd om de luchtkwaliteit te verbeteren.

De mate waarin componenten als NO_x en fijn stof eventueel de normen overschrijden, kan dus worden gereduceerd. In principe kunnen landschapselementen dus ook voorkomen dat normen worden over-

schreden. In hoeverre landschapselementen hierin zullen slagen, is een punt voor nader onderzoek. Lokale factoren als aard en structuur van de beplanting, intensiteit van het verkeer en daarmee van de emissie van luchtverontreiniging en de afstand van de weg naar een verblijfsgebied spelen hierbij een belangrijke rol.

5. Landschapselementen en luchtzuivering

In Hoofdstuk 3 is aangegeven dat planten en vegetaties eigenschappen hebben om verkeersgerelateerde verontreiniging uit de lucht te verwijderen. Hoofdstuk 4 liet zien dat vegetaties als windsingels en hagen ook werkelijk kunnen leiden tot een verbetering van de luchtkwaliteit. De vraag is nu hoe een landschappelijk element er uit moet zien om de luchtzuiverende functie goed te kunnen vervullen. De belangrijke aspecten worden nu nog eens op een rij gezet.

De hoogte

De hoogte bepaalt de invloed op de windsnelheid en daarmee op de depositie van luchtverontreiniging. Hoe hoger de beplanting, hoe groter het gebied waarbinnen de windsnelheid wordt gereduceerd. Relatief grote deeltjes deponeren sneller bij lagere windsnelheden. Vooral bomen komen dus in aanmerking.

De ruwheid

Ruwheid verhoogt de turbulentie en daarmee het afvangen van luchtverontreiniging. Het verdient de voorkeur om er dus geen strak geheel van te maken maar om variatie toe te laten.

De 'porositeit'

Aan de kant van de bron en dus van de weg, moet de beplanting niet volledig gesloten zijn. Lucht met daarin de verontreinigingen moet in de beplanting kunnen doordringen. Het is daarom zaak om op verschillende niveaus actieve bladeren te hebben. Dit pleit voor een gelaagdheid van de beplanting. Breng bijvoorbeeld struiken aan onder de hoge bomen. Het belang van porositeit impliceert tevens dat, gerekend vanaf de verkeersweg, beplanting vóór een geluidsscherm beter zal werken dan een beplanting erachter.

Randen

Grote oneffenheden zoals bosranden verhogen de depositie van luchtverontreiniging. Ook dit pleit voor het toepassen van bomen langs de weg. Stam en bladerdek moeten dan wel boven de weg uitstijgen.

Een groot bladoppervlak

Hoe meer blad per eenheid van grondoppervlak, hoe meer luchtverontreiniging kan worden afgevangen. In principe is dus elke vegetatie beter dan geen vegetatie. Bomen bezitten veel blad en zijn zeer effectief in het wegvangen van verontreinigingen.

Soortsamenstelling

Naast de structurele aspecten zoals hoogte en ruwheid zijn er ook functionele aspecten die bepalen welke plantensoorten het best gebruikt kunnen worden. Het is belangrijk hierbij een onderscheid te

maken naar de aard van de luchtverontreinigingcomponent. Coniferen vangen beter VOS en fijn stof af dan loofbomen en planten met brede bladeren. Omgekeerd absorberen deze laatste relatief meer gasvormige luchtverontreiniging zoals NO_x . Planten met ruw blad zoals de eik vangen meer fijn stof af dan planten met gladde bladeren zoals de populier. Daarnaast blijven coniferen het hele jaar hun naalden behouden terwijl loofbomen 's winters hun blad laten vallen.

De structurele aspecten van een landschapselement zijn zeer waarschijnlijk belangrijker dan de functionele eigenschappen van de samenstellende soorten bij het verbeteren van de luchtkwaliteit. Er zijn vele mogelijkheden om een landschapselement aan te leggen die voldoet aan de bovenbeschreven criteria. In algemene zin bestaat er dus niet zoiets als een ideaal landschapselement in termen van soorten. Bijlage I bevat een overzicht van inheemse boomsoorten met informatie over relevante eigenschappen dat behulpzaam kan zijn bij een meer gerichte keuze van bomen in functionele landschapselementen.

Overige aspecten

Vanwege het belang van de structurele aspecten van een landschapselement is het verstandig bij de aanleg of optimalisering daarvan tevens gebruik te maken van snel groeiende boomsoorten. Populier en wilg kunnen hierbij met name worden genoemd (zie ook Bijlage I). Binnen enige jaren kan dan een redelijk functioneel landschapselement worden gerealiseerd. Daarnaast bestaat er ook de mogelijkheid om rechtstreeks bomen te planten van redelijke of gewenste omvang. Methoden hiervoor zijn beschikbaar.

Planten stellen eisen aan hun milieu en prefereren bepaalde groeiomstandigheden. Deze omstandigheden kunnen beperkend zijn voor de toepassing van bepaalde plantensoorten. In het volgende hoofdstuk wordt hier nader op ingegaan gelet op de aanwezige milieus rond de Ruit van Rotterdam.

6. De groeiomstandigheden

Langs snelwegen en in urbane of sub-urbane gebieden kunnen extreme groeiomstandigheden voorkomen. De belangrijkste hiervan zijn: weinig licht, een droge of juist heel natte bodem en een zeer schrale grond die slechts weinig nutriënten bevat. Dit maakt sommige gebieden sub-optimaal voor plantengroei, maar betekent echter niet dat groei van planten of bomen onmogelijk is. Ook rond de Ruit komen dergelijke extreme milieus voor.

Er is een groot aantal plantensoorten dat onder relatief extreme omstandigheden nog kan groeien of zich hieraan kan aanpassen. Daarnaast zijn er enkele relatief eenvoudige maatregelen te nemen om de ongunstige omstandigheden zodanig te verbeteren dat plantengroei alleszins mogelijk is. Dit biedt voldoende mogelijkheden voor aanplant van bomen, struiken of andere begroeiing in restruimten.

Licht

Planten hebben voor de aanmaak van bouwstoffen een minimale hoeveelheid licht nodig. Over het algemeen bedraagt deze minimale hoeveelheid licht 10 - 40 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ (Nobel, 1991). Dit is minder dan 1% van het volle zonlicht. In dichte bossen kunnen de bladeren onder de bovenste bladlagen te weinig licht krijgen. Deze bladeren sterven uiteindelijk af en vallen dan van de tak. Bladeren kunnen zich ook aanpassen aan lage lichtomstandigheden en worden dan 'schaduwbladeren' genoemd. Deze maken over het algemeen een groter bladoppervlak dan 'zonnebladeren'.

Een aantal plantensoorten is heel geschikt om onder lage lichtomstandigheden te groeien, zoals bijvoorbeeld varens, salomonszegel, lelietje-van-dalen of bosanemonen, maar ook struiken en bomen zoals rododendrons of bepaalde esdoornsoorten kunnen goed op lichtarme plaatsen groeien (Noordhuis, 1997). Over het algemeen zijn het de zuurminnende planten die het in schaduwrijke gebieden relatief goed doen.

Vocht in de bodem

Het waterhoudend vermogen van de bodem, de watercapaciteit, hangt sterk af van de grondsoort en textuur van de bodem. Een bodem met een fijne structuur met weinig scheuren kan weliswaar veel water vasthouden maar dit water is moeilijk beschikbaar voor de plant. Zandgronden draineren snel en hebben daardoor een geringe watercapaciteit, maar dit water kan door planten wel makkelijk aan de bodem worden onttrokken. Naarmate de hoeveelheid organische stof in de bodem toeneemt, neemt ook de watercapaciteit toe. De meest gunstige situatie doet zich voor in een bodem met een afwisselende textuur en een bepaalde mate van organisch materiaal erin. Tabel 1 geeft een overzicht van een aantal in steden veel voorkomende bodemsoorten, waartussen de watercapaciteiten tot een factor 10 kunnen verschillen.

Tabel 1. De watercapaciteit (%) van enige bodems die karakteristiek zijn voor de stedelijke omgeving (Kopinga, 1985). De watercapaciteit varieert sterk tussen de verschillende bodems.

Humus-arme duin zand	7
Fijn zand	15
Humus-rijk zand	19
Humus-rijk zand (leemachtig)	24
Zeer humus-rijk zand (leemachtig)	26
Zandige klei	22
Lichte klei	16
Zware klei	14
Veengrond	50
Straat zand (grof; geen humus)	6,5
Grond in plantgat (2% organisch materiaal)	Ca 10
Grond in plantgat (5% organisch materiaal)	Ca 15

Droogte

Vochtgebrek is in de stedelijke omgeving één van de meest voorkomende stressfactoren voor plantengroei. Vooral bij nieuwe aanplant kunnen bomen soms tot 90% van hun wortelactiviteit verliezen (Bradshaw *et al.*, 1995), waardoor droogte ernstige schade kan veroorzaken of er zelfs toe kan leiden dat de bomen afsterven. Ook bij beplanting die al langer op een plaats groeit, kan droogte ernstige gevolgen hebben voor de groei en resulteren in reductie van bladoppervlak, onvolledige uitgroei van takken en (zij)scheuten of geringe bladdichtheid. Onder omstandigheden van extreme of plotselinge droogte neemt de wortelgroei af, kunnen bladeren verwelken en kunnen voortijdig (al in de zomermaanden) bladverkleuring en bladval optreden.

Een aantal plantensoorten heeft zich evolutionair zodanig ontwikkeld dat deze heel goed onder droge omstandigheden kunnen groeien en daarin ook een zeer gunstige concurrentie positie hebben ontwikkeld ten opzichte van planten die dat minder goed kunnen. Het gaat hierbij met name om plantensoorten die behoren tot de xerophyten of succulenten. Deze soorten hebben fysiologische en morfologische kenmerken die maken dat de verdamping zo beperkt mogelijk blijft. Belangrijke kenmerken zijn: kleine bladeren met een dikke cuticula en veelal een dikke waslaag, verdikte celwanden van de cellen in de epidermislaag, verzonken huidmondjes en relatief veel beharing. Enkele voorbeelden zijn de den (*Pinus sylvestris*), oleander, laurier of heide (*Calluna vulgaris*). Sommige plantensoorten zijn in staat om watervoorraden aan te leggen in hun wortel (*Liliaceae*), bladeren (*Agavaceae*, *Crassulaceae* zoals bepaalde *Sedum*-soorten) of zelfs in de stengel (*Geraniaceae*, zoals *Pelargonium*-soorten). Deze plantensoorten bezitten permanente aanpassingen aan droge omstandigheden. Er zijn ook plantensoorten die zich gemakkelijk kunnen aanpassen aan tijdelijke droogte. De *Stipa* bijvoorbeeld kan zijn bladeren oprollen en daarmee de verdamping beperken tijdens perioden van watergebrek.

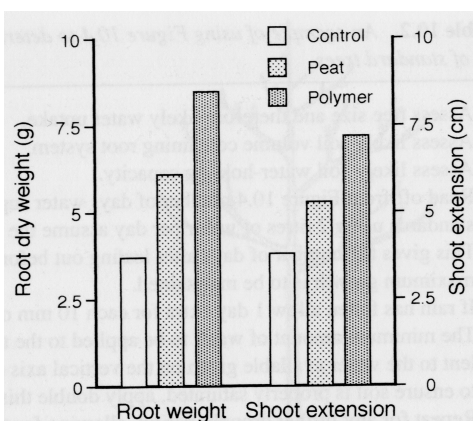
Binnen de groep van de meer droogtegevoelige planten zijn er ook een aantal soorten die zich kunnen aanpassen aan droge omstandigheden door aanpassing van de stofwisseling. Binnen de veredeling is dit al jaren een belangrijk thema en zal door de toenemende verdroging in Europa voorlopig nog actueel blijven.

Enkele effectieve maatregelen om droogteschade te verminderen zijn:

1. Aanplant van bomen of gewassen met een groot wortelstelsel en tijdelijke irrigatie vlak na de aanplant;
2. Verhoging van de watercapaciteit van een droge zandige grond door er organisch materiaal, zoals turf, doorheen te werken. Ook is het mogelijk om watervasthoudende materialen zoals polyacrylamide rondom het wortelstelsel met de bodem te vermengen en daarmee het waterhoudend

vermogen van grond enorm te vergroten. In Figuur 4 wordt aangegeven hoe het bewerken van grond met turf of polyacrilamide de groei van wortelstelsel en bovengrondse delen sterk kan bevorderen (Walmsley *et al.*, 1991);

3. Aanleg van terrassen op hellingen om het wegstromen van water en daardoor optredende erosie te verminderen.



Figuur 4. Het effect van de toevoeging van 25% turf (peat) en 0,4% polyacrilamide (polymer) op de groei van plataan (Walmsley *et al.*, 1991).

Natte omstandigheden

In bodems met een slechte afwatering kan zuurstofgebrek, anaërobie, optreden. Hierdoor krijgen de wortels niet voldoende zuurstof voor hun ademhaling, waardoor de wortelactiviteit sterk afneemt. Bomen en planten kunnen daardoor onvoldoende water en nutriënten opnemen, waardoor de groei van zowel het wortelstelsel als de bovengrondse delen sterk achterblijft. Bomen die door de natte ondergrond te oppervlakkig wortelen, kunnen niet voldoende stabiliteit ontwikkelen en zullen bij harde stormen het risico lopen om te waaien. De grootste schade van wateroverlast ondervinden planten in het groeiseizoen tijdens het voorjaar en de zomermaanden wanneer de wortelactiviteit het grootst is. Dan kunnen slechts enkele dagen van waterophoping al ernstige schade veroorzaken. Bij de lage temperaturen in de wintermaanden is de wortelactiviteit veel geringer en daarmee het schadelijk effect van een natte, drassige grond ook veel geringer.

Een aantal boom- en gewassoorten is goed in staat om onder natte omstandigheden te groeien. Heel bekend is natuurlijk de wilg (*Salix*), die in de winter maandenlang in de ondergelopen uiterwaarden kan staan zonder daarvan merkbare schade te ondervinden. Ook soorten van berk (*Betula*), els (*Alnus*) en populier (*Populus*) kunnen onder deze omstandigheden groeien. Planten die in het algemeen goed onder moerasomstandigheden kunnen gedijen behoren tot de zogenaamde hygrofyten, ofwel de vochtminnende planten (NB. niet te verwarren met de hydrofyten, de waterplanten). Algemene kenmerken van hygrofyten zijn: dunne bladeren, een zeer dunne cuticula, een gering aantal huidmondjes op de bladeren en actieve haren op de bladeren. Deze planten kunnen makkelijk water uitscheiden (ook wel guttatie genoemd, Nobel, 1991) aan het einde van de nerven in de bladeren (de zogenaamde hydathoden), via haren (trichomhydathoden) of speciale openingen door de epidermislaag heen (epithemhydathoden). De zonnebloem (*Helianthus annuus*) behoort onder meer tot deze groep.

Nutriënten

De meeste nutriënten die planten nodig hebben voor hun groei worden via het wortelstelsel vanuit de bodem opgenomen. De belangrijkste voedingsstoffen voor de plant zijn fosfor, kalium en stikstof. De beschikbaarheid van nutriënten kan in steden sterk variëren, maar het is wel mogelijk enkele algemene kenmerken aan te geven. Kalium is in steden zelden beperkend in de bodem. Kalium komt vrij bij de verwerking van rotsvormende mineralen en is in grote hoeveelheden aanwezig in kleiachtige gronden. Het is zeer goed oplosbaar in water en wordt gemakkelijk door de bodem getransporteerd in allerlei richtingen.

Fosfor komt zowel in organische als anorganische vorm voor in de bodem. Fosfaat is grotendeels als complex gebonden aan bodemdeeltjes (meer naarmate de zuurgraad van de bodem hoger is) en is slecht oplosbaar in water. Daarom stroomt het ook niet zo snel naar het grondwater, maar kan het ook slecht beschikbaar zijn voor de plant. In steden is de hoeveelheid fosfor over het algemeen hoog en hangt de beschikbaarheid voor de plant sterk af van de zuurgraad van de bodem.

Stikstof is voornamelijk afkomstig uit de lucht en komt via microbiële activiteit als nitraat of ammonium in de bodem of komt vrij als afbraakproduct van organisch (plant)materiaal. De aanvoer van stikstof in de bodem hangt daarom ook sterk samen met de omstandigheden in de bodem en geschiktheid voor omzettingprocessen door micro-organismen. Voldoende zuurstof, water en organisch materiaal en een goede zuurgraad (pH; tussen 5 en 8) zijn vereist voor een optimaal functioneren van de micro-organismen. Doordat de randvoorwaarden voor stikstofproductie in de bodem optimaal moeten zijn, kan stikstof nogal eens de belangrijkste beperkende factor zijn voor de groei van planten.

Nutriënten hebben elk een eigen bijdrage aan het groeiproces. Gebrek aan elk van de nutriënten zal per saldo de groei in het algemeen negatief beïnvloeden en een gewichtsreductie veroorzaken, maar desalniettemin leveren gebrekverschijnselen voor elke voedingsstof karakteristieke en herkenbare uiterlijke kenmerken op:

1. Stikstoftekort veroorzaakt bladvergelting en een toenemende gevoeligheid voor luizen door overmatige zetmeelophoping in de bladeren.
2. Fosforgebrek veroorzaakt een paarse gloed aan de onderkant van de bladeren of een algemene rood-paars verkleuring van de bladeren. Bovendien kunnen vruchtjes sneller voortijdig afvallen (aborteren).
3. Kaliumgebrek veroorzaakt dunne vruchthuidjes en vergroot de ziektegevoeligheid van de planten.

Het ligt voor de hand dat bijmesten een goede maatregel is om nutriëntengebrek te voorkomen of te verhelpen. Dit vereist echter een tamelijk intensief beheer, hetgeen in het perspectief van stedelijk groenbeheer niet altijd wenselijk of haalbaar is. Omdat vooral stikstofgebrek de meest voorkomende limiterende factor is voor de beplanting in restruimten, is de aanplant van leguminosen hier een goed en goedkoop alternatief. Leguminosen zijn planten die in symbiose leven met stikstoffixerende bacteriën in de bodem. De bacteriën halen stikstof uit de lucht en zetten het om in voor de plant nuttige stikstofverbindingen. In ruil hiervoor levert de plant aan de bacteriën de benodigde energierijke verbindingen, zoals suikers en aminozuren. Voorbeelden hiervan zijn de els (*Alnus glutinosa*), valse acacia (*Robinia pseudo-acacia*) of lupine (*Lupinus arboreus*). Onder stikstofarme omstandigheden hebben leguminosen een duidelijk voordeel in concurrentiekracht ten opzichte van non-leguminosen. Zodra er echter wel voldoende stikstof aanwezig is, zullen een aantal leguminosen het onderspit delven.

7. Evaluatie

Onderzoek heeft aangetoond dat landschapselementen zoals windsingels en hagen de luchtkwaliteit rond wegen aantoonbaar kunnen verbeteren. Dit geldt zowel voor gasvormige als voor deeltjeshoudende luchtverontreiniging. Beschikbare metingen laten zien dat landschapselementen concentraties van verkeersgerelateerde luchtverontreiniging globaal met 10 tot 30% kunnen verlagen in de directe omgeving van de weg. Met name NO_x en fijn stof vormen een bron van zorg. Beide verontreinigingen zijn schadelijk voor de volksgezondheid en overschrijden lokaal de normen. Landschapselementen zijn effectief in het gedeeltelijk verwijderen van deze componenten uit de lucht. De mate waarin NO_x en fijn stof de norm overschrijden, kan dus worden gereduceerd. In hoeverre landschapselementen er in zullen slagen om de concentraties te verlagen tot onder de norm, is een punt voor nader onderzoek. Lokale factoren als aard en structuur van de beplanting, intensiteit van het verkeer en daarmee van de emissie van luchtverontreiniging en de afstand van de weg naar een verblijfsgebied spelen hierbij een belangrijke rol. In het onderzoek zouden onder meer de concentraties van verkeersgerelateerde luchtverontreinigingscomponenten moeten worden gemeten in aan- en afwezigheid van beplanting.

De structuur van het landschapselement is erg belangrijk om de luchtkwaliteit te verbeteren. Gelet moet worden op de hoogte, de ruwheid, de 'porositeit' en de aanwezigheid van randen. Idealiter bestaan landschapselementen uit lagen van hoge bomen, struiken en lage vegetatie. Echter, één rij van bomen kan ook al effectief zijn. Actief blad moet op zoveel mogelijk niveaus aanwezig zijn. Aan de kant van de weg mag dit echter niet leiden tot een gesloten barrière. Lucht moet in de beplanting kunnen doordringen. Er zijn vele mogelijkheden om een landschapselement aan te leggen die voldoet aan de bovenbeschreven criteria. In termen van plantensoorten bestaat er niet zoiets als een ideaal landschapselement. Loof- en naaldbomen zijn een essentieel bestanddeel waarbij aan naaldbomen in verschillende opzichten iets meer belang moet worden toegekend dan aan loofbomen. Immers, naaldbomen blijven het hele jaar door hun naalden behouden.

Het gebied rond de Ruit van Rotterdam kent vele, soms extreme milieus. Deze variëren van droog tot nat en van arm tot rijk zoals in de volkstuincomplexen. Bij het Muizengaatje is de hoeveelheid licht een beperkende factor. In de aanwezige milieus rond de Ruit kunnen planten en bomen groeien, zij het dat hierbij wel voor bepaalde soorten moet worden gekozen afhankelijk van de lokale omstandigheden. Van belang is vooral teveel of te weinig water en te weinig stikstof. Het probleem van te weinig stikstof kan opgelost worden door bepaalde plantensoorten (leguminosen) te kiezen. Deze soorten leven samen met bacteriën die stikstof uit de lucht kunnen vastleggen. Ook voor situaties met teveel of te weinig water kunnen plantensoorten waaronder bomen worden geselecteerd.

Uit het voorgaande kan worden afgeleid dat er veel mogelijkheden zijn voor de aanleg of optimalisering van landschapselementen voor verbetering van de luchtkwaliteit rond de Ruit. Aangezien met name de structurele eigenschappen van beplanting en in mindere mate de functionele eigenschappen van de soorten positieve invloed hebben op de luchtkwaliteit, is het opportuun om te bekijken welke soorten reeds groeien in de verschillende milieus rond de Ruit. Een volgende stap zou dan kunnen zijn om de aanwezige beplanting te optimaliseren voor verbetering van de lokale luchtkwaliteit op basis van de kennis uit dit rapport. Dit impliceert dat waar mogelijk wordt gekeken naar bestaande of vergelijkbare situaties in het veld waarin bepaalde en nader te identificeren plantensoorten goed blijken te gedijen. Vervolgens kunnen dan gerichte keuzes worden gemaakt voor de creatie van een effectief landschapselement.

Tot slot. Landschapselementen zijn een relatief goedkope manier om het probleem van de slechte luchtkwaliteit rond de Ruit waar nodig aan te pakken. Deze functie komt dan nog eens bovenop andere nuttige functies zoals bescherming tegen geluidsoverlast, erosie en wind, en de ecologisch waardevolle inrichting van restruimten. Ook deze aspecten kunnen een rol spelen bij de wijze waarop een definitief landschapselement zijn vorm krijgt.

8. Conclusies en aanbevelingen

Uit deze studie naar de toepassing van landschapselementen ter verbetering van de luchtkwaliteit rond de Ruit van Rotterdam kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

1. Landschapselementen leiden tot een verbetering van de luchtkwaliteit rond verkeerswegen;
2. Voor verbetering van de luchtkwaliteit zijn met name structurele aspecten zoals hoogte, porositeit, en ruwheid van de landschapselementen van belang. Naald- en loofbomen vormen een wezenlijk bestanddeel van deze elementen;
3. In de verschillende milieus die rond de Ruit voorkomen, kunnen landschapselementen worden aangeplant.

Hiermee is aangetoond dat aanplant van landschapselementen ter verbetering van de luchtkwaliteit rond de Ruit van Rotterdam haalbaar en effectief is. De volgende aanbevelingen worden gedaan:

1. De concentraties van de verkeersgerelateerde luchtverontreinigingscomponenten (NO_x, fijn stof) moeten worden gemeten in aan- en afwezigheid van beplanting om te zien in hoeverre landschapselementen er in slagen om de concentraties te verlagen tot onder de respectievelijke normen voor luchtkwaliteit;
2. Inventariseer welke soorten reeds groeien in de verschillende milieus rond de Ruit en maak gebruik van deze kennis bij aanleg of optimalisering van de landschapselementen;
3. Een volgende stap is dan om waar mogelijk de aanwezige beplanting te optimaliseren voor verbetering van de lokale luchtkwaliteit;
4. Doe vervolgens metingen naar de effectiviteit van het aangelegde landschapselement.

Literatuur

- Beckett, K.P., P.H. Freer-Smith & G. Taylor, 1998.
Urban woodlands: their role in reducing the effects of particulate pollution. *Environmental Pollution* 99: 347-360.
- Beckett, K.P., P.H. Freer-Smith G. Taylor, 2000a.
Effective tree species for local air-quality management. *Journal of Arboriculture* 26: 12-19.
- Beckett, K.P., P.H. Freer-Smith & G. Taylor, 2000b.
The capture of particulate pollution by trees at five contrasting urban sites. *Arboricultural Journal* 24: 209-230.
- Bradshaw, A., B. Hunt & T. Walmsley, 1995.
Trees in the urban landscape: principles and practice. E & FN Spon, London.
- Broadmeadow, M., K.P. Beckett, S. Jackson, P. Freer-Smith & G. Taylor, 1998.
Trees and Pollution Abatement. Forest Research Annual Report and Accounts, HMSO, London, pp. 39-43.
- Chamberlain, A.C., 1975.
The movement of particles in plant communities. In: Monteith, J.L. (Ed.), *Vegetation and the Atmosphere*, Vol. 1, Academic Press, London, pp. 155-203.
- Debus, R., B. Dittrich, P. Schröder & J. Volmer, (1989).
Biomonitoring organischer Luftschadstoffe. Aufnahme und Wirkung in Pflanzen - Literaturstudie. In *Handbuch des Umweltschutzes*, ed. J. Vogl, A. Heigl & K. Schäfer. Ecomed Verlagsgesellschaft, Landsberg am Lech, Bundesrepublik Deutschland, pp. 1-63.
- Dochinger, L.S., 1980.
Interception of airborne particles by tree plantings. *Journal of Environmental Quality* 9: 265-268.
- Franzaring, J. & C.J. van Dijk, 2000.
A feasibility study on the potential use of buffer plantings as pollutant traps of emissions from livestock farming. Note 33, Plant Research International, Wageningen.
- Freer-Smith, P.H., S. Holloway & A. Goodman, 1997.
The uptake of particulates by an urban woodland: site description and particulate composition. *Environmental Pollution* 95: 27-35.
- Geiger, R., 1950.
The Climate near the Ground, Cambridge.
- Hanson, P.J. & S.E. Lindberg, 1991.
Dry deposition of reactive nitrogen compounds: A review of leaf, canopy and non-foliar measurements. *Atmospheric Environment* 25A: 1615-1634.
- Hanson, P.J., K. Rott, G.E. Taylor, Jr., C.A. Gunderson, S.E. Lindberg & B.M. Ross-Todd, 1989.
NO₂ deposition to elements representative of a forest landscape. *Atmospheric Environment* 23: 1783-1794.
- Heath, B.A., J.A. Maughan, A.A. Morrison, I.W. Eastwood, I.B. Drew & M. Lofkin, 1999.
The influence of wooded shelterbelts on the deposition of copper, lead and zinc at Shakerley Mere, Cheshire, England. *The Science of the Total Environment* 235: 415-417.
- Heisler, G.M. & D.R. de Walle, 1988.
Effects of windbreak structure on wind flow. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 18: 41-69.
- Koppinga, J., 1985,
Research on street tree planting practices in the Netherlands. *Proceedings of the conference of the Metropolitan Tree Improvement Alliance* 4, 72-84.
- Lendzian, K.J. & G. Kerstiens, 1991.
Sorption and Transport of Gases and Vapors in Plant Cuticles. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology* 121: 65-128.

- Manning, W.J. & W.A. Feder, 1980.
Biomonitoring Air Pollutants with Plants. Applied Science Publishers, London.
- McPherson, G., 1990.
Creating an ecological landscape. In: Rodbell, P.D. (Ed.), Make our cities safe for trees. Proceedings of the fourth urban forestry conference, The American Forestry Association, Washington D.D., pp. 63-67.
- Nasrullah, N., H. Tatsumoto & A. Misawa, 1994.
Effect of roadside planting and road structure on NO₂ concentration near roads. Japanese Journal of Toxicology and Environmental Health 40: 328-337.
- Nielsen, T., K. Pilegaard, A.H. Egeløv, K. Granby, P. Hummelshøj, N.O. Jensen & H. Skov, 1996.
Atmospheric nitrogen compounds: occurrence, composition and deposition. The Science of the Total Environment 189/190: 459-465.
- Nobel, P.S., 1991.
Physicochemical and environmental plant physiology. Academic Press, Inc. San Diego, California, pp 635. ISBN 0-12-520021-8
- Noordhuis, K.T., 1997.
Tuinieren het hele jaar. Rebo productions, Lisse (redactie en productie: Textcase, Groningen), pp 480. ISBN 90-366-0844-9
- Posthumus, A.C., 1982.
Hogere planten als indicatoren en accumulatoren van gasvormige luchtverontreiniging. In: Ecologische Indicatoren voor de Kwaliteitsbeoordeling van Lucht, Water, Bodem en Ecosystemen :70-80. Symp. van de Oecologische Kring, Utrecht.
- Pye, K., 1987.
Aeolian Dust and Dust Deposits. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Robinette, G.O., 1972.
Plants, People and Environmental Quality: A Study of Plants and their Environmental Functions. U.S. Department of the Interior, National Park Service, Washington D.C., XII+136 pp.
- Schweikle, V., 1999.
Schadstoffgehalte an landgebundenen Verkehrswegen. Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg. Karlsruhe. 1-38.
- Tonneijck, A.E.G., M. Blom-Zandstra & J.F. Jonkhof, 2001.
Perspectief op een schone Ruit. Nota 77, Plant Research International.
- Wagrowski, D.M. & R.A. Hites, 1997.
Polycyclic aromatic hydrocarbon accumulation in urban, suburban, and rural vegetation. Environmental Science and Technology 31: 279-282.
- Walmsley, T.J., B. Hunt & A.D. Bradshaw, 1991.
Root growth, water stress and tree establishment. In: Research for Practical Arboriculture (ed. S.J. Hodge), Forestry Commission Bulletin 97, HMSO, London, pp. 38-43.
- Watkins, L.H., 1991.
State of the art review 1: air pollution from road vehicles. HMSO: London.

Bijlage I.

Inheemse soorten die algemeen voorkomen in hagen en bossen, en relevante eigenschappen

Tabel I-1. Inbeemse soorten die algemeen voorkomen in bossen en bagen, en relevante eigenschappen (gewijzigd naar Franzaring & Van Dijk, 2000).

Soort	Karakteristieken plant			Karakteristieken blad		Waslaag en bladharen	
	Groenblijvend	Hoogte [m]	N-indicator	LAI [m ² m ⁻²]	Specifiek bladoppervlak [m ² kg ⁻¹]	Waslaag {zijden blad}	Haren (zijden blad)
<i>Acer campestre</i>	-	>10	6	8,9	19	nee	beide
<i>Acer negundo</i>	-	>10	7			nee	beide
<i>Ligustrum vulgare</i>	+	<5	3			nee	boven
<i>Crataegus spec.</i>	-	<5	4	8,5		nee	beide
<i>Rosa canina</i>	-	<5			33	beide	nee
<i>Pinus mugo</i>	+	<5	2				
<i>Pinus sylvestris</i>	+	>10			3		
<i>Pinus nigra</i>	+	>10	2				
<i>Quercus robur</i>	-	>10			19	beide	beide
<i>Buxus sempervirens</i>	+	<5	4			beide	nee
<i>Rhododendron spec.</i>	+	<5	2			nee	nee
<i>Berberis vulgaris</i>	+	<5	3		26	beide	nee
<i>Hedera helix</i>	+	<5				nee	onder
<i>Acer pseudoplatanus</i>	-	>10	7		25	beide	onder
<i>Betula pubescens</i>	-	<10			15	boven	beide
<i>Cornus mas</i>	-	<5	4			nee	beide
<i>Fagus sylvatica</i>	-	>10		6,3	17	nee	beide
<i>Fraxinus excelsior</i>	-	>10	7		14	nee	nee
<i>Larix decidua</i>	-	>10	3		14		
<i>Alnus glutinosa</i>	-	<10		4,8	14	nee	beide
<i>Carpinus betulus</i>	-	>10			18	nee	beide
<i>Picea abies</i>	+	>10		4	11		
<i>Sambucus nigra</i>	-	<5	9		34	nee	beide
<i>Sorbus aucuparia</i>	-	<5			34	beide	beide
<i>Tilia cordata</i>	-	>10			19	nee	beide

Vervolg Tabel I-1.

Soort	Karakteristieken plant			Karakteristieken blad		Waslaag en bladharen	
	Groenblijvend	Hoogte [m]	N-indicator	LAI [m ² m ⁻²]	Specifiek bladoppervlak [m ² kg ⁻¹]	Waslaag (zijden blad)	Haren (zijden blad)
<i>Taxus baccata</i>	+	<10					
<i>Viburnum opulus</i>	-	<5	6		27	nee	beide
<i>Rubus fruticosus</i>	(+)	<5	6	3,3		nee	beide
<i>Rubus idaeus</i>	-	<5				beide	beide
<i>Rhamnus frangula</i>	-	<5				boven	beide
<i>Prunus spineesa</i>	-	<5		3,8	42	nee	beide
<i>Prunus avium</i>	-	<10	6			nee	onder
<i>Ilex aquifolium</i>	+	<5	5		16	nee	nee
<i>Corylus avellana</i>	-	<5	5			nee	beide
<i>Sorbus aria</i>	-	<10	3			nee	beide
<i>Euonymus europaea</i>	-	<5	5			nee	nee
<i>Ribes uva-crispa</i>	-	<5	6	4,3		nee	beide
<i>Prunus padus</i>	-	>10	6			onder	beide
<i>Prunus serotina</i>	-	>5			10	nee	beide
<i>Rhamnus carthartica</i>	-	<5	4		12	nee	nee
<i>Lonicera xylosteum</i>	-	<5				beide	beide
<i>Lonicera perichlymenum</i>	-	<5	4		31		
Snel groeiend							
<i>Salix alba</i>	-	<10			17	beide	beide
<i>Populus nigra</i>	-	>10			14	nee	onder

N-indicator: het getal '2' stelt een soort voor die arme grond prefereert, en '9' een soort die zeer rijke grond prefereert.

LAI: is een maat voor de hoeveelheid bladoppervlak per eenheid van het bodemoppervlak. Hoe groter dit getal, hoe meer blad zich bevindt boven een oppervlak grond.

Specifiek bladoppervlak: is een maat voor de hoeveelheid bladoppervlak per eenheid van bladgewicht. Hoe groter dit getal, hoe dunner het blad.

