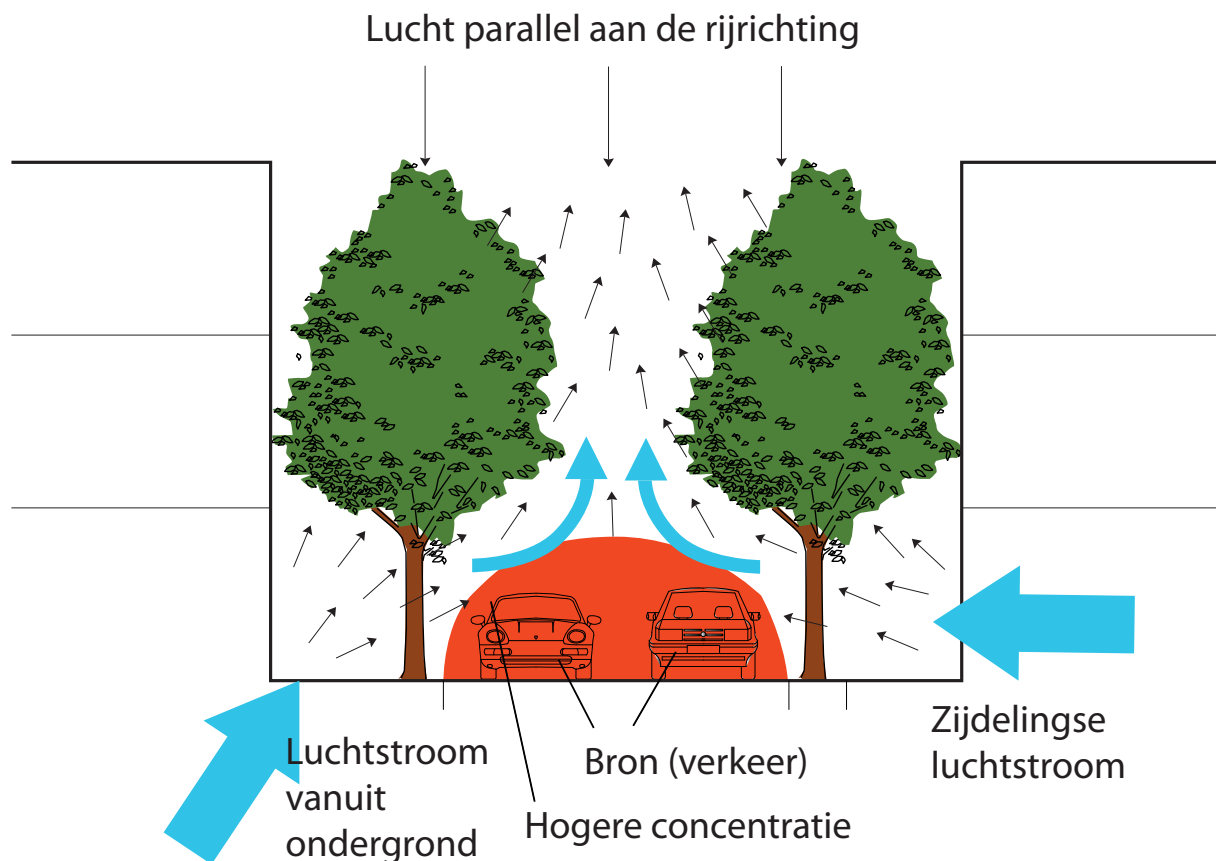


Groen voor luchtkwaliteit

Op welke wijze kan groen bijdragen aan een betere luchtkwaliteit in de bebouwde omgeving?



Een vernieuwde kijk op het toepassen van groen voor het verbeteren van de luchtkwaliteit!

Naam: Harrie Piggen
Studentnummer: 890120001
Klas: T4B
Ingeleverd op: 14 juni 2013

Colofon

Datum:	14 juni 2013
Auteur:	H.P.M. Piggen Student op Hogeschool van Hall Larenstein Opleiding Tuin- en Landschapsinrichting Realisatie en planuitwerking 06-21628847 harrie_piggen@hotmail.com
Afstudeerbegeleider:	J.A.A.T van Merriënboer Docent beplantingsleer en sortimentskennis Opleiding Tuin- en Landschapsinrichting Hogeschool van Hall-Larenstein
Vormgeving:	Harrie Piggen
Tekstcorrectie:	W.Piggen en T.Piggen-Douma
Fotoverandwoording:	Harrie Piggen tenzij anders aangegeven
Druk:	Repro Van Hall Larenstein

De resultaten van het onderzoek mogen vermenigvuldigd worden mits de bron en de auteur worden vermeld.

Voorwoord

Het rapport dat voor u ligt is het resultaat van tien weken onderzoek naar groen en luchtkwaliteit. Het onderzoek is uitgevoerd door Harrie Piggen, in het kader van de afstudeeropdracht ter afronding van de studie Realisatie Tuin- en Landschapsinrichting aan de Hogeschool van Hall Larenstein.

Het onderzoek vond ik zeer interessant om uit te voeren omdat het bij kan dragen aan een verbetering van de luchtkwaliteit. Bovendien heeft iedereen wat aan dit onderzoek. De ontwerpers, stedenbouwkundigen, gemeenten en de overige inrichters van de openbare ruimte kunnen het gebruiken om groen effectief in te zetten. Ook de burgers kunnen dit onderzoek gebruiken om hun kennis over luchtkwaliteit en groen te vergroten en om zelf aan de slag te gaan met luchtkwaliteit en groen. Dat maakt dit onderzoek naar mijn idee ook uniek. Door middel van het gehanteerde bloedvatprincipe, beslisbomen en de voorbeelduitwerkingen is iedereen in staat om bijvoorbeeld een woonstraat te analyseren. Op deze manier hoop ik dat de mensen zich meer bewust worden van de luchtkwaliteit in de omgeving en het onderwerp daardoor bespreekbaar wordt, waardoor het kan leiden tot een betere luchtkwaliteit

Voor de duidelijkheid, met alleen groen kan het luchtkwaliteitsprobleem niet worden opgelost, maar het kan wel bijdragen aan een verbetering van de luchtkwaliteit.

Mijn dank gaat uit naar alle onderzoekers die de rapporten, artikelen en andere wetenswaardigheden over groen en luchtkwaliteit hebben gepubliceerd. Zonder deze mensen was dit rapport niet in deze hoedanigheid tot stand gekomen.

Ook wil ik mijn begeleider op Hogeschool van Hall Larenstein, de heer Jan van Merriënboer, bedanken voor al zijn hulp en inzet.

Tot slot wil ik mijn ouders bedanken voor het meedenken, het vele praten over dit onderwerp en het nakijken van het rapport.

Na het maken van dit rapport kijk ik nu totaal anders tegen de gehele buitenruimte aan. Ik ben ervan overtuigd dat u, na het lezen van dit rapport, ook anders tegen de buitenruimte aan gaat kijken.

Ik wens u dan ook veel leesplezier en hoop dat mijn rapport bijdraagt aan een verbetering van de luchtkwaliteit.

Harrie Piggen

Velp, juni 2013



Samenvatting

Aanleiding

De luchtkwaliteit is slecht in grote delen van Nederland, met name in het verstedelijkt gebied. Slechte luchtkwaliteit leidt tot gezondheidsproblemen zoals hartkwalen, hoofdpijn, concentratieverlies en moeheid. Duizenden Nederlanders overlijden jaarlijks voortijdig als direct gevolg van de (slechte) Nederlandse luchtkwaliteit. (Pbl, 2013) Een goede luchtkwaliteit in de bebouwde omgeving is dus van essentieel belang voor de mens en zijn omgeving.

Doelstelling

Het doel van dit rapport is om richtlijnen / beslisbomen te formuleren om groen effectief in te zetten voor de luchtzuivering. Het kan dienen als handleiding en vernieuwde kijk op het verbeteren van de luchtkwaliteit door het inzetten van groen. Doordat het gehele traject wordt beschreven is dit onderzoek begrijpelijk, duidelijk en vernieuwend.

De hoofdvraag die ik mij heb gesteld is:

“Op welke wijze kan groen bijdragen aan een betere luchtkwaliteit in de bebouwde omgeving?”

Werkwijze

Om de benodigde informatie te verzamelen wordt eerst een literatuuronderzoek gedaan naar lucht(kwaliteit), vervuilende stoffen, regels over luchtkwaliteit en naar beplanting die de lucht zuivert. Daarna zijn er door middel van een praktijkonderzoek / casus de verschillen onderzocht tussen het platteland (vaak schone lucht) en de bebouwde omgeving (vaak vuile lucht). Als laatste zijn er met de verkregen informatie een aantal toepassingsvoorbeelden uitgewerkt.

Kern

Groen kan de luchtkwaliteit verbeteren mits het correct wordt toegepast. Als groen foutief wordt toegepast dan kan de luchtkwaliteit zelfs verslechteren! Voor het effectief aanplanten van groen voor de luchtzuivering moet er integraal worden gekeken naar de gehele stad en dient deze in zijn geheel op luchtverbetering te worden ingericht.

De lucht bestaat uit langzaam en snel variërende stoffen. De vervuilende stoffen zijn, koolstofdioxide, methaan, radon, distikstofmonoxide, stikstofoxiden, ozon, pollen, bacteriën en zwaveldioxide. Verder is smogvorming een probleem. Smog kan door vier verschillende stoffen ontstaan, te noemen: ozon,

fijnstof, stikstofdioxide en zwaveldioxide. Smog ontstaat door een combinatie van natuurlijke processen of door stoffen die in het milieu terechtkomen door de mens. Onder invloed van weersomstandigheden ontstaat er een chemische omzetting waardoor smog ontstaat.

De vervuilende stoffen komen door de natuur of menselijk handelen in de lucht terecht. Er kan een onderscheid gemaakt worden in stoffen die niet direct afgevangen kunnen worden en stoffen die direct afgevangen kunnen worden. De vervuilende stoffen kunnen op de volgende manieren worden uitgestoten: adem, voertuigen en machines, schoorsteen, kunstmest, landbouw, zware industrie, huishoudens en vuilverwerking.

In de (Nederlandse) wet milieubeheer staan alle milieuregels beschreven. Deze wet is gebaseerd op alle voor Nederland geldende internationale en Europese regels.

In steden is vaak sprake van warmte eilanden. Dit betekent dat de bebouwde omgeving warmer is dan de omgeving (buitengebied). Dit effect wordt vergroot als er veel harde materialen (verhardingen, dakleer etc.) aanwezig zijn.

De watertemperatuur blijft gedurende de dag redelijk constant. Door deze eigenschap is water interessant om het toe te passen in de bebouwde omgeving. De combinatie van water en groen is dan ook zeer goed. Deze combinatie zorgt onder andere voor verkoeling, luchtzuivering en dierenleven waardoor o.a. spinnenplagen worden voorkomen. Doordat een stad per wijk en tijdsgeest is gebouwd met de ideeën van toen ontstaat er vaak geen eenheid in de stad waardoor zaken als doorluchting en een duidelijke groenstructuur vaak onvoldoende zijn. Juiste deze zaken zijn essentieel om groen effectief aan te planten voor luchtzuivering.

Groen heeft naast zuiverende eigenschappen ook diverse andere eigenschappen zoals verkoeling, bevochtiging, geleiding, een recreatieve functie, en visuele-, financiële- en emotionele waarde. Al deze eigenschappen maken groen onmisbaar in de bebouwde omgeving en daarbuiten. Groen kan op drie manieren vervuiling opnemen / uit de lucht vangen. Door middel van huidmondjes, de waslaag op de bladeren en door afzetting op plantendelen. Groen is in staat om de volgende stoffen af te vangen / op te nemen: koolstofdioxide (CO₂), zwaveldioxide (SO₂), stikstofoxiden

(NO_x), stikstofdioxide (NO₂), ozon (O₃), ammoniak (NH₃) en fijnstof (o.a. PM₁₀, 5, 2.5 en 1μm).

Fijnstofconcentratie kan op drie niveaus worden onderscheiden namelijk, op landelijk-, stedelijk- en lokaal niveau. Groen kan op alle drie de niveaus worden ingezet om de luchtkwaliteit te verbeteren.

Alle plantensoorten nemen koolstofdioxide op.

Planten met naalden nemen effectief fijnstof op en plantensoorten met bladeren nemen effectief stikstofoxiden en ozon op. Om de verschillende stoffen af te vangen moet er dus een combinatie gemaakt worden tussen naald- en loofhout, bladverliezend en wintergroen.

Ieder soort groen heeft andere eigenschappen wat ervoor zorgt dat niet elk soort alle vervuiling af kan vangen. Er dient dus een mix van soorten gemaakt te worden om alle vervuiling af te kunnen vangen.

Dichte beplanting is minder effectief dan beplanting met een poreusiteit van 40% omdat de lucht dan door de beplanting heen gaat in plaats van erover. Daardoor wordt het contactoppervlak vergroot en daarmee de afvang. Om die reden zijn lijnelementen effectief. Goede doorluchting in de bebouwde omgeving is essentieel. Door luchtstromen op maaiveldniveau te realiseren worden vervuilende stoffen optimaal vermengd en afgevoerd / gezuiverd. Bomen hebben verhoudingsgewijs een grote afvang omdat zij een groot oppervlak hebben. Er moet worden voorkomen dat lucht stil komt te staan en dat de bomen een gesloten kroon vormen boven de rijweg / vervuilende bron. Als dit wel het geval is dan kan groen de luchtkwaliteit zelfs verergeren in plaats van verbeteren! Als er onvoldoende ruimte is voor bomen dan is dak- en gevelgroen een waardige vervanger.



Inhoudsopgave

Voorwoord.....	3
Samenvatting.....	5
1 Inleiding.....	13
1.1 Problematiek.....	13
1.2 Doelstelling.....	13
1.3 Hypothese.....	13
1.4 Hoofdvraag en deelvragen.....	13
1.5 Werkwijze.....	13
1.6 Structuurbeschrijving.....	13
2 Welke stoffen zitten er in de lucht?.....	15
2.1 De langzaam variërende stoffen.....	15
2.2 Sterk variabele stoffen.....	16
3 Vervuilende stoffen.....	19
3.1 Welke stoffen zorgen voor luchtvervuiling?.....	19
3.2 Smog.....	22
3.3 Hoe komen die vervuilende stoffen in de lucht terecht?	24
3.4 Wie / wat zijn de veroorzakers van de vervuilende stoffen?	25
4 Luchtkwaliteit.....	29
4.1 Wet milieubeheer.....	29
4.2 Hoe wordt de luchtkwaliteit in Nederland gemeten?.....	30
4.2.1 Wat verstaan we onder schone lucht?.....	30
4.2.2 Welke normen zijn er voor luchtkwaliteit?.....	30
4.3 Luchtkwaliteit in Nederland.....	30
4.3.1 Fijnstof PM10 daggemiddelde.....	30
4.3.2 Fijnstof PM10 jaargemiddelde.....	31
4.3.3 Fijnstof PM2.5 jaargemiddelde.....	32
4.3.4 Stikstofdioxide.....	32
4.3.5 Stikstofoxiden.....	34
4.3.6 Ozon.....	34
4.3.7 Ammoniak	35
4.3.8 Relatie ontwikkelingen emissie en luchtkwaliteit.....	36
4.4 Hoeveel en wat voor stoffen hebben mens en machine nodig?.....	37
4.5 Evolutionaire ontwikkeling van deze milieubenadering.....	38
4.6 Welke maatregelen worden er genomen om de luchtvervuiling te verminderen?.....	38
4.6.1 Conclusie.....	39
5 Verschil tussen stad en platteland.....	41
5.1 Opbouw van dorp en stad.....	41
5.2 Aantal huizen per hectare.....	41
5.3 Wegen en verkeer.....	41
5.4 Warmte.....	43
5.5 Water.....	44
5.6 Verharding.....	45
5.7 Groen.....	46
5.8 Leefwijze.....	49

6 Constructieve bijdragen van “groen” voor de luchtkwaliteit?	51
6.1 Welke eigenschappen heeft groen?	51
6.2 Welke stoffen zuivert / neutraliseert groen?	53
6.2.1 Hoe verwijdert vegetatie luchtverontreinigende stoffen?	53
6.2.2 Hoe wordt fijnstof verwijderd door de beplanting?	54
6.3 Geschikte beplanting	56
6.3.1 Soortkeuze	56
6.3.2 Richtlijnen voor de aanplant van groen	57
6.3.3 Bepalen van effecten beplanting	58
6.4 Toepassingsprincipes	59
6.4.1 Beplanting en luchtstromen	59
6.4.2 Street canyon en groene tunnel effect	61
6.4.3 Lijnelementen	62
6.4.4 Parken	63
6.4.5 Bossen	63
6.4.6 (Blok)hagen	64
6.4.7 Bomen in stedelijke omgeving	64
6.4.8 Dak- en gevelgroen	65
6.4.9 Urban heat island	65
6.4.10 Locatie	67
6.5 Ontwerpprincipes bebouwde omgeving	68
6.6 Hoeveel vervuilende stoffen vangt beplanting af?	70
6.7 Beslisboom	72
7 Voorbeelduitwerkingen	77
7.1 Inventariseren traject 1	77
7.2 Beslisbomen	78
7.2.1 De Lauwersgracht	78
7.2.2 De Velperbuitensingel	79
7.2.3 Parkstraat	81
7.2.4 Kastanjelaan	82
7.2.5 Spijkerlaan	83
7.3 Maatregelen	85
7.3.1 Lauwersgracht	85
7.3.2 De Velperbuitensingel	86
7.3.3 Parkstraat	86
7.3.4 Kastanjelaan	86
7.3.5 Spijkerlaan	86
7.3.6 Kruisingen	87
8. Conclusies en aanbevelingen	
8.1 Conclusies	89
8.2 Aanbevelingen	90
Literatuurlijst	93
Bijlage 1 Tabel vervuilende stoffen en smog	97
Bijlage 2 Internationale en Europese luchtkwaliteitsregels	101
Bijlage 3 Belangrijkste normen voor de luchtkwaliteit	107
Bijlage 4 Geschikte beplanting	111
Bijlage 5 Beslisbomen	119
Bijlage 6 Richtlijnen voor aanplant van de verschillende groentypen	129
Bijlage 7 Evolutionaire manier van de milieubenadering	131

*De natuur
De natuur was er eerder dan de mens,
hij vervult je grootste wens:
Zuurstof zodat je kunt leven.*

*Ook kan het je rust en ontspanning geven.
Wandelen in het mooie groen,
iets wat iedereen eens zou moeten doen.*

*Zodat ze zien dat de natuur belangrijk is,
want sommigen doen het totaal mis:*

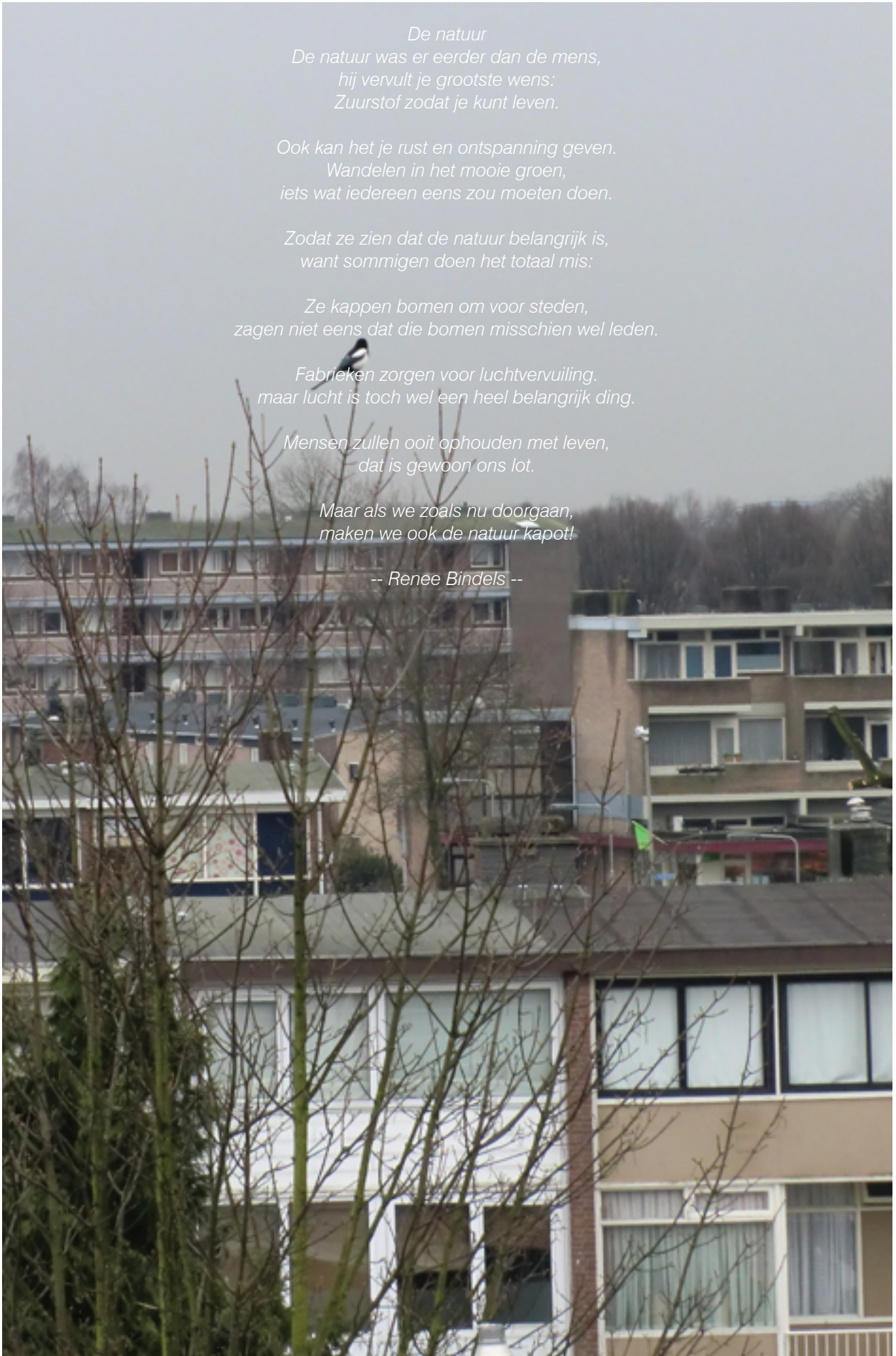
*Ze kappen bomen om voor steden,
zagen niet eens dat die bomen misschien wel leden.*

*Fabrieken zorgen voor luchtvervuiling,
maar lucht is toch wel een heel belangrijk ding.*

*Mensen zullen ooit ophouden met leven,
dat is gewoon ons lot.*

*Maar als we zoals nu doorgaan,
maken we ook de natuur kapot!*

-- Renee Bindels --



1 Inleiding

1.1 Problematiek

De luchtkwaliteit is slecht in grote delen van Nederland, met name in het verstedelijkt gebied. Slechte luchtkwaliteit leidt tot gezondheidsproblemen zoals hartkwalen, hoofdpijn, concentratieverlies en moeheid. Duizenden Nederlanders overlijden jaarlijks voortijdig als direct gevolg van de (slechte) Nederlandse luchtkwaliteit. (Pbl, 2013) Een goede luchtkwaliteit in de bebouwde omgeving is dus van essentieel belang voor de mens en zijn omgeving.

1.2 Doelstelling

Het doel van dit rapport is om richtlijnen / beslisbomen te formuleren om groen effectief in te zetten voor de luchtzuivering. Het kan dienen als handleiding en vernieuwde kijk op het verbeteren van de luchtkwaliteit door het inzetten van groen. Doordat het gehele traject wordt beschreven is dit onderzoek begrijpelijk, duidelijk en vernieuwend.

1.3 Hypothese

Mijn verwachtingen uit het onderzoek zijn groot. Voorgaande onderzoeken over luchtkwaliteit pakten er telkens één onderdeel uit zoals groen, verkeer terugdringen, groen (milieubewust) rijden etc. Doordat dit onderzoek met de basis begint (wat zit er in lucht) en integraal naar het probleem kijkt, ben ik van mening dat er op basis van dit onderzoek nieuwe gedachten en inzichten over het verbeteren van de luchtkwaliteit ontstaan. Mijn hypothese is dan ook, dat wanneer je de luchtkwaliteit in de bebouwde omgeving wilt verbeteren, zowel de gehele bebouwde omgeving als daarbuiten hier op ingericht moet worden. De bebouwde omgeving moet zichzelf kunnen ventileren en dus zelf de vuile lucht verversen / zuiveren. De manier van denken van de mensen moet veranderen. Er moet gekeken worden naar wat goed is voor luchtkwaliteit en minder naar wat "mooi" is. Vaak wordt nu gekeken naar beplanting die mooi is maar niet naar de luchtzuiverende eigenschappen. Hetzelfde geldt voor gebouwen. Deze worden op een plaats gebouwd die "mooi" is. Er wordt te weinig / geen rekening gehouden dat deze gebouwen de luchtstroom blokkeren. Deze gedachte zal bij de mensen moeten veranderen. Alleen op die manier kan het probleem doeltreffend worden aangepakt.

1.4 Hoofdvraag en deelvragen

Naar aanleiding op de problematiek die in 1.1 is beschreven is de hoofdvraag geformuleerd. Om antwoord te geven op de hoofdvraag zijn er deelvragen opgesteld, die beantwoord worden in de verschillende hoofdstukken van het onderzoeksrapport. De hoofdvraag die tijdens dit rapport wordt beantwoord :

Op welke wijze kan groen bijdragen aan een betere luchtkwaliteit in de bebouwde omgeving?

Deelvragen:

Welke stoffen zitten er in de lucht?

Wat zijn de vervuilende stoffen, hoe ontstaan ze en wie stoten ze uit?

Welke regels zijn er op het gebied van luchtkwaliteit?

Welke maatregelen worden er in de bestaande situatie genomen?

Het verschil tussen stad en platteland?

Welke soorten zijn geschikt om de vervuilende stoffen uit de lucht te halen?

1.5 Werkwijze

Om de benodigde informatie te verzamelen is er eerst een literatuuronderzoek gedaan naar lucht(kwaliteit), vervuilende stoffen, regels over luchtkwaliteit en naar beplanting die de lucht zuivert. Vervolgens zijn er door middel van een praktijkonderzoek / casus de verschillen onderzocht tussen het platteland (vaak schone lucht) en de bebouwde omgeving (vaak vuile lucht). Tot slot zijn er met de verkregen informatie een aantal toepassingsvoorbeelden uitgewerkt.

1.6 Structuurbeschrijving

Hoofdstuk 2 beschrijft globaal welke stoffen er aanwezig zijn in de lucht, Hoofdstuk 3 beschrijft welke stoffen vervuילend zijn, wie ze uitstoten en hoe deze in de lucht terecht komen. Hoofdstuk 4 beschrijft de belangrijkste internationale, Europese en Nederlandse regels over luchtkwaliteit en beschrijft de huidige luchtkwaliteit in Nederland. Hoofdstuk 5 beschrijft het verschil tussen stad en platteland. Hoofdstuk 6 beschrijft de constructieve bijdrage van groen voor de luchtkwaliteit, inclusief het bloedvatprincipe en toepassingsprincipes. In hoofdstuk 7 worden een aantal voorbeelduitwerkingen beschreven aan de hand van beslisbomen, het bloedvatprincipe en eigen inzicht.



*De lucht
Lucht is een noodzaak
voor al wat leeft
lucht heeft een mooie taak
omdat het bescherming geeft*

*Lucht regelt temperatuur
voor plant, mens en dier
en de gehele natuur
lucht geeft ook plezier*

*de vogels zingen een lied
de lucht draagt het geluid
zonder lucht horen we het niet
en ademen wij niet in of uit*

-- de anonieme dichter --



Donkere lucht, heldere lucht, geen wolkje aan de lucht, maar wat voor stoffen zitten er nou eigenlijk in de lucht?

2 Welke stoffen zitten er in de lucht?

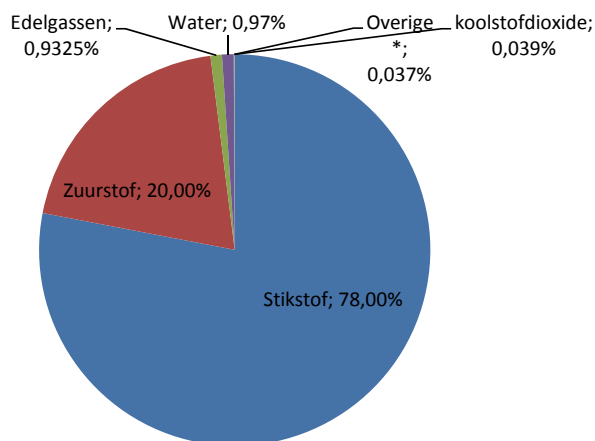
Lucht bestaat uit vele stoffen en elementen. In §2.1 worden de langzaam variërende stoffen besproken en in § 2.2 de sterk variërende stoffen. Deze stoffen worden in dit hoofdstuk kort besproken.

2.1 De langzaam variërende stoffen

De gemiddelde samenstelling van de langzaam variërende stoffen is als volgt:

Stikstof	78,00%
Zuurstof	20,00%
Edelgassen	0,9325%
Water	0,97%
koolstofdioxide	0,039%
Overige *	0,037%
* Methaan	0,00022 %
* Distikstof(mon)oxide	0,0001 %
* Waterstof	0,00005 %

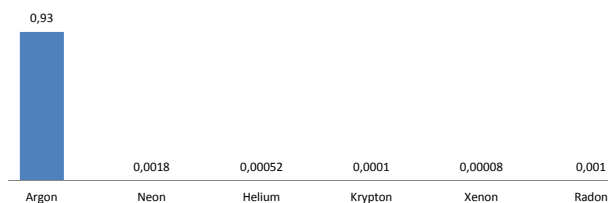
(Lennotech, 2013)



Figuur 2.1 Grafiek luchtpercentages (Lennotech, 2013)

Edelgassen

Argon	0,93 %
Neon	0,0018 %
Helium	0,00052 %
Krypton	0,0001 %
Xenon	0,00008 %
Radon	0,001 %



Figuur 2.2 Grafiek luchtpercentages edelgassen (Lennotech, 2013)

Stikstof

Het grootste gedeelte van de lucht bestaat uit stikstof (78%). In de bodem kan het gevonden worden als nitrieten en nitraten. De stikstofcyclus van vrije stikstof in de atmosfeer (N₂) is essentieel voor de planten. De stoffen die hierbij ontstaan zorgen ervoor dat de plant nitraten en nitrieten kan opnemen die noodzakelijk zijn voor de fotosynthese. Echter door menselijke activiteiten zoals de uitstoot van industrieën, meststoffen en de voedselproductie worden zeer veel stikstofverbindingen uitgestoten. Deze "nieuwe" verbindingen zorgen voor de vervuiling en zijn onder andere verantwoordelijk voor een bepaald type smog. (Lennotech, 2013a) (ECN, 2013) (Wikipedia, 2013)

Zuurstof

Is van levensbelang voor zowel mens, plant en dier. Ook is het van essentieel belang voor machines. Zonder zuurstof kan er geen verbranding plaatsvinden. Zuurstof is kleurloos en kan zich binden met andere stoffen. Door middel van zonlicht kan Ozon (en daarmee smog) ontstaan. Ozon is wel schadelijk voor de mens. (Lennotech, 2013b) (Wikipedia, 2013a + b)

Edelgassen

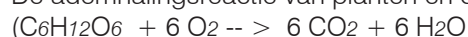
Onder edelgassen vallen de volgende gassen; helium (He), neon (Ne), argon (Ar), krypton (Kr), xenon (Xe) en radon (Rn). Edelgassen trekken zich niets aan van hun directe omgeving en gaan niet of nauwelijks verbindingen aan met andere stoffen. Deze gassen komen in zeer lage hoeveelheden voor in de buitenlucht. Het gas wordt onder andere gebruikt voor verlichting zoals neonverlichting, gloeilampvulling en als gas in de luchtballon. Het gas zelf is in lage concentraties niet schadelijk. Sommige edelgassen vervallen en reageren met (fijn)stof. Dit kan longkanker veroorzaken. Radon is hier een voorbeeld van. (Lennotech (2013c) (Wikipedia, 2013c + j + k)

Koolstofdioxide

Ieder levend wezen produceert koolstofdioxide. In hoge concentraties is deze stof schadelijk en kan onder andere sufheid en hoofdpijn veroorzaken.

Planten kunnen door middel van het fotosynthese proces koolstofdioxide omzetten in zuurstof.

De ademhalingsreactie van planten en dieren is



Glucose + zuurstof --> koolstofdioxide + water

Planten zijn in staat om de koolstofdioxide weer om te zetten in onder andere zuurstof.

De reactie is als volgt:

(koolstofdioxide + water + zonne-energie -> glucose + zuurstof
 $6 \text{ CO}_2 + 6 \text{ H}_2\text{O} + \text{zonne-energie} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6 \text{ O}_2$).

Deze reactie wordt ook wel fotosynthese genoemd.

Een uitgebreide beschrijving van deze stof is beschreven in paragraaf 3.1

Methaan

Methaan is een broeikasgas. In de lucht zet het zich na verloop van tijd (door oxidatie) zelf om in koolstofdioxide (CO_2). Daarom is het van belang om de uitstoot van methaan te beperken zodat ook de uitstoot van koolstofdioxide (CO_2) beperkt blijft. Een uitgebreide beschrijving van methaan is beschreven in paragraaf 3.1

Distikstofmonoxide

Beter bekend als lachgas. Deze stof is een sterk broeikasgas. De broeikaswerking is 310 x groter dan van koolstofdioxide. Als deze stof, in hoge concentraties wordt ingeademd ontstaat een bewustzijnsdaling die te vergelijken is met dronkenschap. De persoon begint vaak kortdurig te lachen. Een uitgebreide beschrijving van deze stof is te lezen in paragraaf 3.1.

Waterstof

Het is een kleur-, smaak-, en geurloos gas en is licht ontvlambaar. Waterstof is een belangrijk onderdeel van water. Waterstof is te vinden in de natuur maar wordt ook geproduceerd door de mens. De stof wordt veel gebruikt bij de brandstofproductie. Blootstelling aan hoge concentraties van het gas kan een zuurstofarm milieu tot gevolg hebben. Dit is alleen kunstmatig haalbaar omdat in het "natuurlijke" milieu dergelijke hoge concentraties niet voorkomen. (Lenntech, 2013d)

2.2 De sterk variërende stoffen

Water

De hoeveelheid water in de lucht verschilt sterk. Een lage luchtvochtigheid wordt als onprettig ervaren. Als de luchtvochtigheid te hoog is vindt bij bepaalde temperaturen dauwvorming plaats. Dit dauwpunt is afhankelijk van de temperatuur en de hoeveelheid vocht in de lucht.

Zout

Ook wel Natrium chloride (NaCl) genoemd. Zeezout bestaat uit natriumchloride met kleine bijdragen van magnesium-, calcium-, en kaliumverbindingen. Zeezout is van natuurlijke oorsprong en komt in de lucht wanneer de wind over het zeewateroppervlak blaast. Wikipedia (2013g)

Aarde

De lucht kan ook aarde bevatten en verplaatsen. Een goed voorbeeld hiervan is het Saharazand dat

vanuit Afrika via de lucht onder andere naar Nederland wordt getransporteerd. Op een kleinere schaal is dit ook goed te zien en dan met name bij droog weer. Een onbegroeide toplaag (vaak zand) wordt door de wind verplaatst. Een goed voorbeeld hiervan zijn de stuifzandgebieden.

Stikstofoxiden

In scheikundige termen NO_x . Dit is de verzamelnaam voor meerdere stoffen die schadelijk zijn voor de mens. Ze ontstaan bij alle vormen van verbranding op hoge temperaturen zoals in een verbrandingsmotor. Diesel vervuult meer dan benzine omdat de verbranding onder hogere druk en dus hogere temperaturen plaatsvindt. De stof komt ook vrij bij huishoudelijke verwarming van gas, stookolie, kolen en bij verbranding van olie of gas. Elektriciteitscentrales, hoogovens, cementovens etc. stoten dus ook NO_x uit. Een uitgebreide beschrijving van alle stoffen uit deze groep staat beschreven in paragraaf 3.1.

Ozon

Deze stof is in lage concentraties al gevaarlijk voor de mens. Ozon is één van de veroorzakers van smog. Deze stof wordt mede veroorzaakt door de uitlaatgassen van het autoverkeer. Een uitgebreide beschrijving van ozon is beschreven in paragraaf 3.1

Pollen

Pollen veroorzaken bij sommige mensen hooikoorts. Deze vervuiling is afkomstig van groen. Houd dus bij aanplant van groen rekening met mogelijke effecten hiervan. Een uitgebreide beschrijving van pollen is beschreven in paragraaf 3.1

Bacteriën

Dit zijn eencellige organismen die met het blote oog niet zichtbaar zijn. Bacteriën zijn overal aanwezig. Veel bacteriesoorten zijn onschuldig en sommige soorten zelfs nuttig voor de mens. Ook zijn er soorten die vervelende ziekten kunnen overbrengen. Een uitgebreide beschrijving over bacteriën is beschreven in paragraaf 3.1

Sporen

Sporen of spore zijn kleine, eencellige lichamen die bestand zijn tegen hitte en uitdroging en tot een nieuw organisme kunnen uitgroeien. Deze spore worden door paddenstoelen, algen, varens, mossen, bacteriën en niet-bloeiende en bloeiende planten geproduceerd. Sporen kunnen tot wel 50 jaar overleven in de lucht.

Zwavedioxide

Is een verbinding van zwavel en zuurstof. Deze stof is een veroorzaker van smog en kan verschillende gezondheidsklachten veroorzaken. Daarmee is het vervuilende stof. Een uitgebreide beschrijving over zwavedioxide is beschreven in paragraaf 3.1

Zoutzuur

Of in scheikunde benaming HCl. Zoutzuur is een waterige oplossing van het gas waterstofchloride. Het bestaat uit een waterstof (H) en chloor (Cl) atoom. Zoutzuur is kleurloos en in hoge concentratie sterk corrosief. (*Wikipedia, 2013i*)



3 Vervuilende stoffen

In dit hoofdstuk “trekken de gevaren langzaam voorbij”. Het beschrijft de vervuilende stoffen, de veroorzakers en hoe deze stoffen in de lucht terecht komen.

3.1 Welke stoffen zorgen voor luchtvervuiling?

Koolstofdioxide (CO₂)

Het is een kleur- en reukloos, niet brandbaar gas, dat van nature in de lucht aanwezig is. (Wikipedia 2013a) Ieder levend wezen produceert CO₂ als ze ademen.

Koolstofdioxide wordt geproduceerd bij verbranding van elke stof die koolstof bevat. Dus ook bij de verbranding van brandstoffen komt deze stof vrij. Ook wordt de stof geproduceerd bij gisting.

CO₂ is een broeikasgas dat via klimaatveranderingen wereldwijd gevolgen heeft voor het milieu (en voor de gezondheid van mensen). De hoeveelheid CO₂ in de lucht vormt geen onmiddellijk risico voor de gezondheid. Enkel bij concentraties vanaf ongeveer 0.5 % of meer CO₂ in de lucht kunnen gezondheidsklachten zoals hoofdpijn en sufheid ontstaan. (Medisch Milieukundigen, 2013)

Ook kan koolstofdioxide de pH waarde van water verlagen. De koolstofdioxide lost op in water om een zwakzuur te vormen dat carbonzuur wordt genoemd. Daarna gaat het carbonzuur reageren met water. Het resultaat is verzuring van het water.

De uitstoot van koolstofdioxide is evenredig met het verbruik van machines: hoe meer brandstof er verbrand wordt, hoe meer CO₂ er wordt uitgestoten. Benzinevoertuigen stoten meer CO₂ uit in

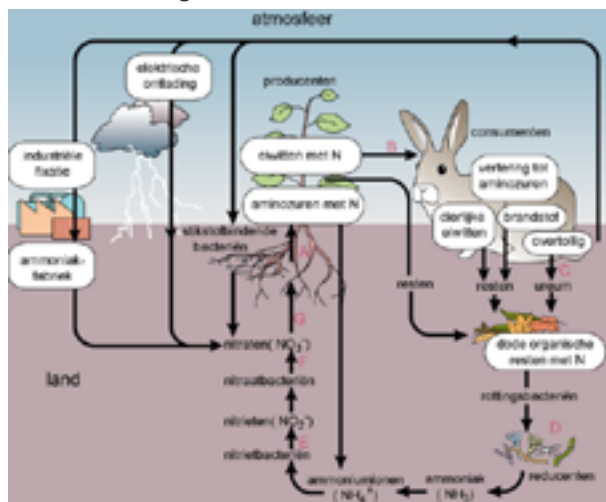
vergelijking met dieselveertuigen. De concentratie van CO₂ in de lucht verschilt sterk.

Methaan (CH₄)

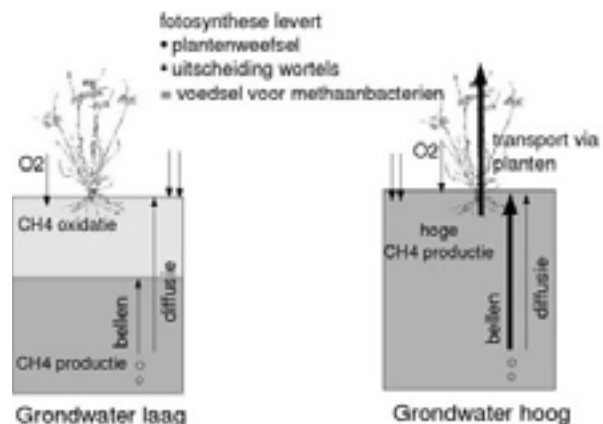
Methaan bestaat uit één koolstofatoom (C) en vier waterstofatomen (H). Methaan is een broeikasgas. Het laat de zonnestraling wel door naar de aarde, maar de terugkerende infrarode straling, (warmte) wordt voor een deel tegengehouden. Daarom draagt een toename van dit gas bij aan de opwarming van de aarde. Methaan in de lucht zet zich na verloop van tijd (door oxidatie) zelf om in CO₂. Daarom is het van belang om de uitstoot van methaan te beperken zodat ook de uitstoot van CO₂ beperkt blijft. Verder is methaan een brandstof (aardgas en biogas bestaan grotendeels uit methaan).

De landbouw is een belangrijke producent van methaan. In de spijsvertering van koeien wordt veel methaan geproduceerd. Ook op stortplaatsen van afval, als het afbraakproces van dode biomassa onder zuurstofloze omstandigheden plaatsvindt, komt methaan vrij. Ditzelfde gebeurt ook in de natuur. Er wordt dan gesproken over moerasgas. Dit is te zien als je door een moeras loopt of er met een stok in prikt. Het zijn de belletjes die dan verschijnen. (Falw 2013)

In de huidige atmosfeer is meer dan de helft van het methaan het gevolg van menselijk handelen. De



Figuur 3.1 Stikstofkringloop (bron: 10 voorbiologie.nl)

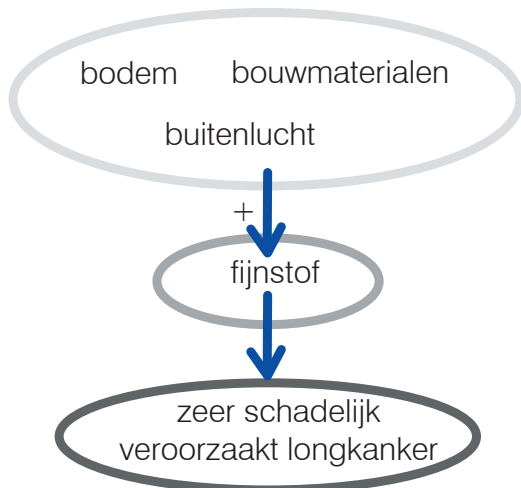


Figuur 3.2 Vorming van moerasgas (methaan) (bron: falw.vu)

belangrijkste nieuwe bronnen zijn de productie en het gebruik van fossiele brandstoffen (kolen, olie, gas), rijstbouw, veeteelt en afvalverwerking. (KNMI 2013) Ook bij bosbranden en uit bevroren toendra's (smeltende permafrost in Siberie en Canada) komt methaan vrij. (KNMI 2013a)

Radon (Rn)

Radon is een radioactief edelgas dat van nature vrijkomt uit de bodem (15%), uit bouwmaterialen (70%) zoals beton, baksteen en natuursteen en uit de buitenlucht (15%). (Milieucentraal, 2013) Het gas zelf is niet schadelijk. Men ademt het in maar ook weer uit. Radongas vervalt echter en daarbij ontstaan vaste stoffen die zich gaan hechten aan (fijn)stofdeeltjes. Als deze radioactieve deeltjes worden ingeademd komen ze in de longen terecht maar ze worden niet meer uitgeademd! De straling van deze deeltjes kan longkanker veroorzaken. Er wordt geschat dat ze verantwoordelijk zijn voor enkele honderden gevallen van longkanker per jaar in Nederland. (Milieucentraal, 2013) Concentraties die schadelijk zijn komen veelal voor in woningen. Het is dus van groot belang om woningen goed te ventileren om zo het radon en het fijnstof percentage laag te houden. Het feit dat radondeeltjes in combinatie met fijnstof longkanker kunnen veroorzaken, maakt dit gas ook schadelijk voor de openbare ruimte.



Figuur 3.3 Radon

Distikstof(mon)oxide (N₂O)

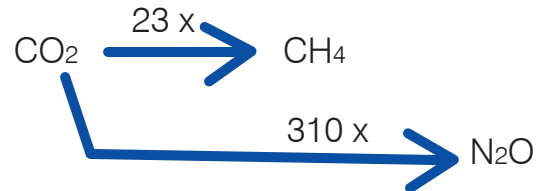
Deze stof is beter bekend als lachgas. Het gas is kleurloos en heeft een lichtzoete smaak en geur. Het gas wordt gebruikt bij verdovingen en om het motorvermogen te vergroten. In de atmosfeer is het een broeikasgas. Dit gas wordt gemaakt door andere stoffen met elkaar te laten reageren.

Lachgas zet vitamine B12 om in een onwerkzame analoog. De vitamine wordt dus onbruikbaar. (Wikipedia, 2013b) Bij een langdurige blootstelling / gebruik ontstaat een uiting van neurologische symptomen (zenuwziekten). Als je het inademt ontstaat een bewustzijnsdaling die lijkt op een soort dronkenschap.

Distikstof(mon)oxide is een broeikasgas. De broeikaswerking is 310 maal groter dan van koolstofdioxide (CO₂). Het kan tot 150 jaar duren voordat lachgas is afgebroken. Daarom wordt het tot de belangrijkste broeikasgassen gerekend.

De belangrijkste bronnen zijn:

- landbouw door het gebruik van (kunst)mest maar ook door het omploegen van grasland (33.5%)
- de chemische industrie (38.2%)
- verbranding van fossiele brandstoffen (28%)
- afvalverwerking (11%) (Wikipedia, 2013b)



Figuur 3.4 Sterkte van broeikasgassen ten opzichte van CO₂ (Wikipedia, 2013b)

Stikstofoxiden (NO_x)

NO_x is een verzamelnaam voor mono (één) stikstofoxiden (NO, NO₂, NO₃) en bestaan uit binaire (tweevoudige) verbindingen van zuurstof en stikstof. (Wikipedia 2013c)

Stikstofmonoxide (NO)

Is een anorganische verbinding. De stof is een kleurloos gas dat onder andere ontstaat bij de verbrandingsprocessen in auto's en elektriciteitscentrales. (Wikipedia 2013c)

Stikstofdioxide (NO₂)

Wordt onder andere gevormd bij zure regen. Zure regen ontstaat door de uitstoot van elektriciteitscentrales, zware industrie en wegtransport, evenals door de verbranding van biomassa. Ook bij bliksem wordt het geproduceerd. Bij opname in het menselijk lichaam kunnen longbeschadigingen (longoedeem) optreden, doordat het met water salpeterzuur vormt. Ook de rode bloedlichamen worden door dit gas aangetast, met als gevolg minder zuurstofopname. Er kan dus ook salpeterzuur (HNO₃) worden gevormd in (openbare) wateren.

De vergelijking is dan als volgt: $3 \text{ NO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{ HNO}_3 + \text{NO}$ (Wikipedia 2013c)

Verder kunnen er door middel van deze stof nitraten (NO₃-) en nitrieten (NO₂-) ontstaan.

Nitraten (NO₃-)

Nitraten worden veel gebruikt als kunstmest omdat het stikstof bevat. Nitraten spelen een belangrijke rol bij de stikstofopname door de plant uit de bodem. Nitraten maken de stikstofopname eenvoudiger voor de plant. Als er meer nitraat in de grond aanwezig is dan er opgenomen kan worden (overbemesting) vormt nitraat een bedreiging voor de kwaliteit van het drinkwater en dus op de langere termijn een gevaar voor de mens. Nitraat zit overal in. Zo zit het in groenten, conserveermiddelen en in het

drinkwater. Ook kan het gevaar opleveren in zoetwatersystemen als er grote hoeveelheden nitraten aanwezig zijn. (Wikipedia 2013c)

Nitriet (NO₂-)

Wordt gemaakt uit nitraat, het is dus geen natuurlijk voorkomende stof en dus niet van toepassing op de luchtkwaliteit in de stad. (Wikipedia 2013c)

Stikstoftrioxide (NO₃)

Deze stof is een tussenproduct in de vorming van fotochemische smog*. Deze stof wordt gevormd uit een reactie van ozon (O₃) en stikstofdioxide NO₂ + O₃ --> NO₃ + O₂ (Wikipedia 2013c)

*Fotochemische smog is luchtvervuiling die ozon en andere chemische componenten bevat, die worden gevormd door de reactie van stikstofoxiden en koolwaterstof in de aanwezigheid van zonlicht.

Overdag kan het fotochemisch weer ontleed worden:



's Nachts is het ook niet stabiel en kan het reageren met stikstofmonoxide (NO)



Met stikstofdioxide kan het ook reageren er ontstaat dan de volgende reactie:



Met water vormt het pentoxide en uiteindelijk salpeterzuur (HNO₃) (Wikipedia 2013c)

Conclusie

Stikstofoxiden ontstaan bij alle vormen van verbranding op hoge temperaturen zoals in een verbrandingsmotor. Diesel vervuult meer dan benzine omdat de verbranding onder hogere druk en dus hogere temperaturen plaatsvindt. De stof komt ook vrij bij huishoudelijke verwarming op gas, stookolie, kolen, verbranding van olie of gas. Elektriciteitscentrales, hoogovens, cementovens etc. stoten dus ook NO_x uit.

Het zijn zeer vervuilende stoffen die de luchtkwaliteit nadelig beïnvloed. Met name stikstoftrioxide is niet stabiel en reageert met vele andere stoffen waardoor er weer nieuwe (schadelijke) stoffen ontstaan.

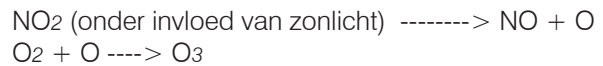
Ozon (O₃)

Is een stof die van nature ontstaat in de atmosfeer onder invloed van elektrische ontladingen (zoals bij onweer) en door ultraviolette straling. Hoog in de atmosfeer vormt het de ozonlaag. Deze laag is zeer nuttig en beschermt ons tegen ultraviolette straling. Het is ongezond om ozon in te ademen ook in lage concentraties. Ook is ozon één van de veroorzakers van smog.

Ozon is irriterend voor de ogen en de luchtwegen. Ook kan het effecten hebben op het centrale zenuwstelsel, met als gevolg hoofdpijn, verzwakte waakzaamheid en verminderde prestaties. (Wikipedia, 2013d)

Hoe ontstaat ozon op landniveau?

Onder invloed van zonlicht gaan in de troposfeer, (onderste laag van de atmosfeer waar vrijwel alle weersverschijnselen optreden, op een hoogte van 8 tot 18 km. (KNMI, 2013b)) koolwaterstoffen en koolstofmonoxide (CO) chemische reacties aan met stikstofoxiden (NO_x) waardoor onder andere ozon ontstaat.



De koolwaterstoffen, koolstofmonoxide en stikstofoxiden worden met name door autoverkeer uitgestoten. Het mengsel van deze stoffen met ozon wordt fotochemische smog genoemd. De gevormde ozon tast bij mensen en dieren het longweefsel aan. Bij planten remt het de groei en beschadigt de bladeren. Ozon in de stratosfeer (luchtlag op 10 – 15 km hoogte) beschermt dus de biosfeer, terwijl ozon in de troposfeer (onderste laag van de dampkring) juist schadelijk is. (Wikipedia, 2013d)

Conclusie

Deze stof is dus gevaarlijk voor de mens ook in lage concentraties en is één van de veroorzakers van smog. Deze stof wordt mede veroorzaakt door de uitlaatgassen van het autoverkeer.

Pollen

De lucht kan ook pollen bevatten. Dit wordt veroorzaakt door het mannelijke stuifmeel van windbestuivende planten en struiken. Sommige mensen zijn hier allergisch voor. Dit heet hooikoorts. De verschijnselen zijn jeukende ogen, kriebel in de keel, neus en oren, soms ook niessalvo's en een loopneus, overmatige vermoeidheid, lusteloosheid en concentratieverlies. (Hooikoorts 2013) De hoeveelheid pollen in de lucht kan sterk verschillen. Bij vorst en windstil weer zijn er nauwelijks pollen maar als de planten bloeien in combinatie met wind is de hoeveelheid pollen zeer groot.



Figuur 3.5 Stuifmeel van planten (www.helpstars.at)

Bacteriën

Er komen wel 1800 verschillende soorten bacteriën voor in de lucht. (Boomblad 2013) Bacteriën zijn overal en dus ook in de lucht aanwezig. Veel bacteriën zijn niet schadelijk. Er zijn soorten die wel schadelijk zijn. Bacteriën kunnen zich snel verspreiden en daarmee een mogelijke ziekte zoals longontsteking, wondinfecties, bacteriële hersenvliesontsteking of keel- en oorontsteking veroorzaken.

Zwaveldioxide

“Zwaveldioxide (SO_2) is het belangrijkste verbrandingsproduct van zwavel in de lucht. Het komt met name vrij bij het verbranden van zwavelhoudende fossiele brandstoffen zoals sommige soorten aardolie, bruinolie of steenkool en is een belangrijke component van vervuiling en smog (Wikipedia, 2013e).”

Zwaveldioxide vormt in de lucht gemakkelijk een verbinding met vocht waaruit zwaveltrioxide (SO_3) ontstaat. In combinatie met water ontstaat (verdund) zwavelzuur (H_2SO_4). Dit regent uit de atmosfeer op de aarde neer. Dit verschijnsel wordt zure regen genoemd. (Wikipedia, 2013f)

Zwaveldioxide is zeer slecht voor de gezondheid. De stof komt het lichaam binnen via de luchtwegen (40 – 90 % of meer) en in mindere mate via het speeksel. Het kan bij langdurige blootstelling permanente longaantastingen / vermindering veroorzaken (al bij een blootstelling van 5 ppm). De kans op chronische bronchitis neemt bij deze groep sterk toe. Zwaveldioxide wordt zeer langzaam verwijderd van de luchtwegen door het lichaam. Als het in de bloedbaan komt wordt het omgezet in sulfiet en bisulfite. Vervolgens oxideert het als sulfaat en wordt het uitgescheiden in de urine. Kortom zwaveldioxide wordt wel afgebroken maar dit gaat zeer langzaam.



Figuur 3.6 Korstmossen (www.urania.be)

Korstmossen zijn zeer gevoelig voor SO_2 . Aan het ontbreken van korstmossen kun je dus globaal de mate van luchtvervuiling meten. (ccohs, 2013)

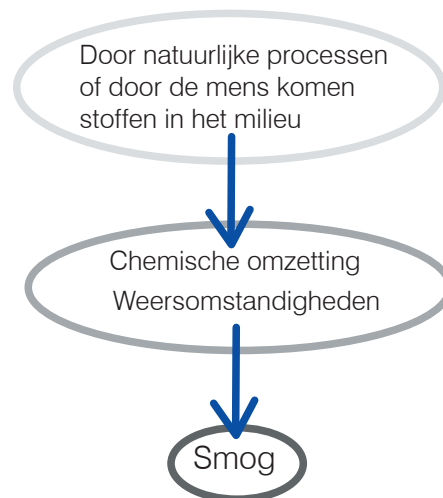
**Parts per million (ppm) oftewel delen per miljoen is een maat voor de concentratie. Een concentratie van 1 ppm geeft aan dat er één deel van het product is op een totaal van een miljoen delen, meestal uitgedrukt in massa. Één ppm is duizend keer kleiner dan één promille.*

Conclusie

Zwaveldioxide is een grote vervuiler en een oorzaak van smog. Deze stof beïnvloedt de luchtkwaliteit dus nadelig. De stof komt in het lichaam via de luchtwegen en in mindere mate via het speeksel. Zwaveldioxide kan ademhalingsproblemen en bronchitis veroorzaken. Deze gezondheidsproblemen treden al op bij een blootstelling van 5 ppm. De stof wordt wel afgebroken door het lichaam maar dit gaat heel langzaam.

3.2 Smog

Luchtverontreinigende stoffen worden zowel door de mens als door natuurlijke processen in de lucht gebracht. Afhankelijk van de weersomstandigheden en chemische omzettingen kunnen stoffen zich ophopen in de atmosfeer en ontstaat er smog. (RMM 2013) Het lijkt op dikke mist en wordt ook wel rookmist of roetnevel genoemd. Smog kan door verschillende stoffen ontstaan. De verschillende manieren worden in onderstaande tekst beschreven.



Figuur 3.7 Ontstaan van smog

Smog door ozon (O_3)

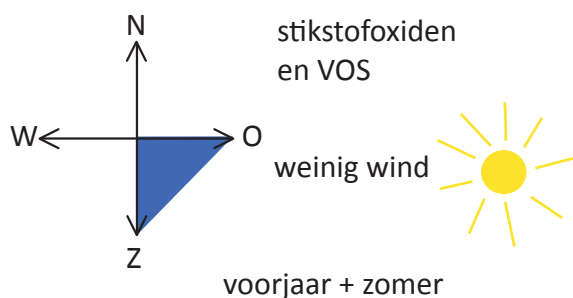
Hoge ozonconcentraties (smog) ontstaan bij grote hoeveelheden verontreinigende stoffen (stikstofoxiden en Vluchtige Organische Stoffen (VOS**)) in de lucht. Dit gebeurt als er weinig wind staat en de wind uit het zuidoosten komt. De verontreinigende stoffen hopen zich dan op in de lucht. Onder invloed van zonlicht worden de verontreinigende stoffen omgezet in ozon. Doordat er voor dit proces zonlicht nodig is komen de verhoogde ozonniveaus eigenlijk alleen in het voorjaar en in de zomer voor. In andere seizoenen is de zonne-invloed te gering om ozon te laten ontstaan. (RMM 2013)

****VOS** is een verzamelnaam voor stoffen die vluchtig of snel verdampen en die één of meerdere koolstofatomen bevatten. Bij een korte blootstelling aan hele hoge concentraties zoals tijdens schilderwerken of gebruik van lijmen en spuitbussen kunnen duizeligheid, misselijkheid, hallucinaties, concentratiestoornissen, irritatie van ogen en luchtwegen, onderdrukking of prikkeling van het centraal zenuwstelsel optreden. (MKK, 2013) Deze effecten zijn tijdelijk.

Bij lage concentraties van VOS zijn de effecten minder snel duidelijk maar op de langere termijn maanden, jaren) treden soms klachten op. Dit komt met name voor in woningen.

Ozon dringt door tot de kleinste luchtwegen en luchtblaasjes en zorgt zo voor een prikkeling van de slijmvliezen. De meest voorkomende klachten door ozon zijn een prikkelende ademhaling (hoesten) en irritatie van de ogen. Ook kunnen er verergerde luchtwegklachten optreden zoals irritatie van neus en keel, benauwdheid, duizeligheid, misselijkheid en hoofdpijn. Mensen die veel lucht inademen zoals kinderen, sporters of mensen die fysiek zwaar werk in de buitenlucht verrichten, hebben een verhoogde kans om last te ondervinden van ozon. Ook ouderen kunnen snel last krijgen van ozon.

Als het smogniveau hoog is ondervindt een groter deel van de bevolking klachten. (RIVM 2013 en 2013a)



Figuur 3.8 Ontstaan van smog door ozon

Smog door fijnstof

“Fijnstof is een verzamelnaam voor alle kleine deeltjes in de lucht, van zandkorrels en roetdeeltjes tot stukjes afgesleten autoband of wegdek. Ook kan fijnstof ontstaan door de reactie tussen verschillende stoffen in de lucht. PM staat voor particulate matter en geeft de diameter van de deeltjes aan. PM10 deeltjes hebben een doorsnede van 10 micrometer (μm) Een micrometer is één duizendste millimeter. Er bestaan ook deeltjes van 2.5 en 0.1 μm . Deze deeltjes zijn nog schadelijker dan de PM10 deeltjes” (Geciteerd uit Milieuhulp 2013)

PM10 deeltjes bestaan uit twee delen: het primaire en secundaire deel. Het primaire deel ontstaat door direct menselijk handelen en door natuurlijke processen. Voorbeelden hiervan zijn transport, industrie en landbouw. De natuurlijke bronnen zijn: zeezoutaerosol, opgewaaid bodemstof en vulkaan. Het secundaire proces wordt in de

atmosfeer gevormd door chemische reacties van gassen. (RIVM 2013a)

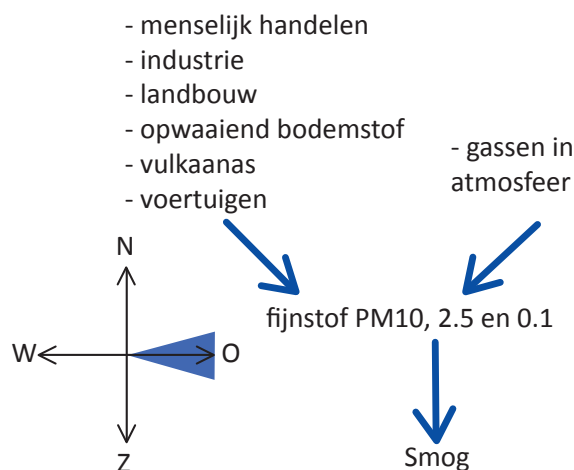
Doordat fijnstof uit zeer kleine deeltjes bestaat kan het overal doordringen. Als de concentratie van fijnstof toeneemt, krijgen steeds meer mensen gezondheidsklachten. Mensen met hart- en vaatziekten merken daardoor een toename van hun klachten. Andere groepen met een verhoogde kans op klachten zijn kinderen, ouderen, diabetici, sporters en mensen die zwaar lichamelijk werk in de buitenlucht verrichten. (RIVM 2013)

Doordat fijnstof uit veel verschillende stoffen bestaat kan niet één enkele stof worden aangewezen die de klachten veroorzaakt. Wel staat vast dat fijnstof van verbrandingsprocessen een groter aandeel in de gezondheidsklachten heeft dan natuurlijk fijnstof zoals zeezout en bodemstof.

Hoe hoger de concentraties, hoe schadelijker het is voor de gezondheid. Hoe langer de hoge concentraties aanwezig zijn, hoe schadelijker dit is voor de mensen. Fijnstof ontstaat vaak in perioden met hoge druk, dus bij helder en mooi weer en een zwak tot matige oostelijke wind.

Een verhoogde concentratie van fijnstof kan onder meer verergering van de luchtwegklachten veroorzaken zoals astma-aanvallen, benauwdheid, hoesten en COPD. Mensen met hartklachten hebben hier in het algemeen eerder last van. De klachten kunnen per persoon verschillen.

In Nederland is het fijnstof gehalte relatief hoog ten aanzien van andere Europese landen. Dit komt door de hoge bevolkingsdichtheid en het autoverkeer.



Figuur 3.9 Ontstaan van smog door fijnstof

Smog door zwaveldioxide (SO₂)

Zwaveldioxide komt vrij bij de verbranding van fossiele brandstoffen. In de atmosfeer is 95% van het aanwezige SO₂ gehalte afkomstig van niet natuurlijke bronnen. Raffinaderijen en elektriciteitscentrales vormen de belangrijkste bronnen van SO₂. (Wikipedia 2013e)

De zwaveldioxide is in de loop der jaren steeds

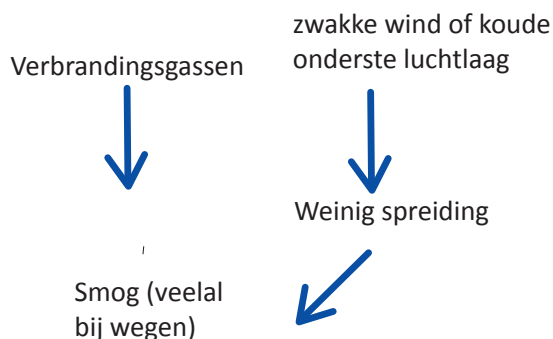
verder gedaald. De huidige niveaus zijn zo laag dat het vrijwel uitgesloten is dat er ernstige smog zal optreden. Daarom komt dit type smog in Nederland niet of nauwelijks voor. De grootste kans dat het voorkomt is bij rampen en grootschalige incidenten. Als er toch smog ontstaat dan is dit in de buurt van industrie en verkeer. Mensen met ademhalingsproblemen, astma of chronische longziekten moeten tijdens mogelijke smog binnen blijven. (RIVM 2013, RIVM 2013a)

Smog door stikstofdioxide (NO₂)

Stikstofdioxide is een gas dat wordt geproduceerd bij verbrandingsgassen. Langs drukke wegen komt soms matige smog door stikstofdioxide voor. Vooral in de ochtend zijn de concentraties relatief hoog. (RIVM, 2013a) Dit komt door de (drukke) ochtendspits in combinatie met een zwakke wind of een koude onderste luchtlag waardoor weinig verspreiding plaatsvindt.

De norm voor jaargemiddelde concentratie is 40 µg/m³ en wordt soms langs drukke verkeerswegen in vooral de Randstad overschreden. (RIVM, 2013a) "Gezondheidseffecten die in verband worden gebracht met stikstofdioxide, worden waarschijnlijk veroorzaakt door het gehele mengsel van luchtverontreinigende stoffen." (geciteerd uit RIVM, 2013) Het wordt dus veroorzaakt door NO₂ en van de daarmee geassocieerde (en veelal onbekende) stoffen. Kinderen, sporters en mensen die zwaar lichamelijk werk verrichten hebben verhoogde kans op de beschreven gezondheidseffecten omdat zij relatief veel lucht inademen.

"Stikstofdioxide kan bij zeer hoge concentraties (aantal maal hoger dan de norm), irritaties veroorzaken aan ogen, neus en keel. Bij blootstelling aan lagere concentraties wordt een lagere longfunctie waargenomen. Ook een toename van astma-aanvallen en ziekenhuisopnamen en een verhoogde gevoeligheid voor infecties komen voor. (Geciteerd uit RIVM (2013))"



Figuur 3.10 Ontstaan van smog door stikstofdioxide

3.3 Hoe komen die vervuilende stoffen in de lucht terecht?

De vervuilende stoffen kunnen op twee manieren in de lucht terecht komen. Door de natuur

(zoals pollen) of door menselijk handelen (door bijvoorbeeld machines.)

Deze zijn weer onder te verdelen in twee categorieën; stoffen die niet direct afgevangen kunnen worden en stoffen die direct afgevangen kunnen worden.

Stoffen die niet direct afgevangen kunnen worden

Een voorbeeld hiervan is kunstmest, stoffen die men uitademt en fijnstof. Deze zijn lastig uit te lucht te zuiveren omdat deze overal in de lucht aanwezig zijn en er dus veel voorzieningen gemaakt moeten worden, om deze aan de lucht te onttrekken.

Stoffen die direct afgevangen kunnen worden

Deze stoffen zijn veel makkelijker af te vangen omdat ze geconcentreerd ergens doorheen lopen, voordat ze in contact komen met de buitenlucht. Een voorbeeld hiervan is het uitlaatsysteem of een schoorsteen. Door op zo'n systeem een zuiveringselement te plaatsen kunnen er al veel vervuilede stoffen worden afgevangen. Een voorbeeld hiervan is een katalysator op een uitlaatsysteem of de stofafvang van een cirkelzaag. Immers als je kunt voorkomen dat vervuilende stoffen in de lucht terecht komen hoeft je ze er ook niet uit te halen!

Adem

Ieder levend wezen ademt en daarmee komen ook (vervuilende) stoffen in de lucht terecht. Een belangrijke vervuilende stof die wordt uitgeademd is CO₂. Deze stof kan voor sufheid zorgen. Een goed voorbeeld hiervan is als meerdere mensen zich gedurende een aantal uur in een kleine ruimte bevinden (b.v. bij een vergadering). Het zuurstofgehalte neemt af en het koolstofdioxide gehalte neemt toe. Gevolg sufheid en hoofdpijn.



Figuur 3.11 Uitlaatgassen bevatten veel vervuilende stoffen (www.automobile.challenges.fr)

Uitlaatsysteem

Via het uitlaatsysteem van voertuigen en machines komen zeer veel verschillende en vervuilende stoffen in de lucht terecht. Om de uitstoot van de verontreinigende stoffen tegen te gaan kan er in het uitlaatsysteem een katalysator worden geplaatst,

zodat de uitstoot wordt verminderd. Dit wordt veel gedaan om de uitstoot van het zeer vervuilende NO_x te beperken. De uitstoot van die stof wordt inderdaad verminderd maar het nadeel is dat er nu andere stoffen de lucht in komen zoals N₂O en NH₃. (ECN, 2013) Het is dus essentieel dat er (voor zover dat nog niet bestaat) een goed systeem wordt ontworpen om de vervuilende stoffen uit de lucht te onttrekken, nog voordat ze in de buitenlucht kunnen komen.

Schoorsteen

Via de schoorstenen van fabrieken komen veel vervuilende stoffen in de buitenlucht. Doordat deze stoffen geconcentreerd worden afgevoerd naar de buitenlucht is het essentieel dat er (voor zover dat nog niet bestaat) een goed systeem wordt ontworpen om de vervuilende stoffen uit de lucht te onttrekken, nog voordat ze in de buitenlucht kunnen komen.



Figuur 3.12 Vervuilende stoffen uit schoorstenen (www.mw.nl)

Huishoudens stoten ook veel vervuilende stoffen uit zowel via een schoorsteen / pijp als via open ramen, deuren etc. Via de schoorsteen is de stof geconcentreerd en zou dus net als bij fabrieken afgevangen kunnen worden met een systeem. De vervuilende stoffen die via de ramen en deuren de buitenlucht in gaan zijn lastiger af te vangen.

Kunstmest

Door bemesting verandert de samenstelling van de grond, verandering van de voedingsstoffen etc. Als er te veel voedingsstoffen in de grond aanwezig zijn is er een kans dat deze gaan uitspoelen in diepere grondlagen en in het grond-, drink- en oppervlaktewater terecht komen. Dit water wordt gebruikt door alle levende wezens en zodoende kan



Figuur 3.13 (Kunst)mest strooien veroorzaakt een hoog stikstofgehalte (www.agrofoto.nl)

het in het lichaam terecht komen. Ook kan het kunstmest zoals eerder beschreven in het (oppervlakte) water terecht komen waardoor de stikstof (N) reageert met water en er lachgas (N₂O) ontstaat. (ECN, 2013) Dit gas is een zeer krachtig broeikasgas! Dit proces maakt deel uit van de koolstofcyclus. Dit is een zeer belangrijk proces, want door deze cyclus ontstaan veel vervuilende stoffen.

3.4 Wie / wat zijn de veroorzakers van de vervuilende stoffen?

Zoals in paragraaf 3.1 is te lezen zijn er veel luchtvervuilende stoffen. Iedere stof wordt op zijn eigen manier "geproduceerd." Paragraaf 3.4 beschrijft de hoofdgroepen die de vervuiling veroorzaken. Een uitgebreide beschrijving van alle veroorzakers is te vinden in bijlage 1.

De grootste veroorzaker van de vervuilende stoffen is de mens. Wij gebruiken machines, bouwen steden, kappen bossen, bemesten land, maken van zee nieuw land (polder), winnen en verbranden fossiele brandstoffen etc. Kortom wij proberen alles naar onze hand te zetten. De natuur is ook een veroorzaker van luchtvervuilende stoffen zoals methaan (moerasgas) en koolstofdioxide maar dit valt in het niet bij wat door menselijk handelen is veroorzaakt. Bovendien is de natuur in staat om de vervuilende stoffen om te zetten. Een voorbeeld hiervan is de fotosynthese. De mens heeft er dus voor gezorgd dat het evenwicht is verdwenen. Op basis van deze gedachte zijn de volgende groepen gedefinieerd.



Figuur 3.14 Vervuiling door voertuigen en machines (www.agrofotografie.be)

Voertuigen en machines

Deze groep verbrandt grote hoeveelheden (fossiele) brandstoffen. Bij de verbranding van deze stoffen komen grote hoeveelheden luchtvervuilende stoffen in de lucht. Bovendien kunnen sommige van die stoffen voor smog zorgen. Deze groep is overal aanwezig. Doordat ze zich kunnen voortbewegen is het lastig om deze groep te concentreren, waardoor uitstoot overal plaatsvindt. Het is dus moeilijk om voorzieningen te maken die voor een verminderde uitstoot zorgen.

Zware industrie

Deze groep verbrandt grote hoeveelheden (fossiele) brandstoffen. Zware industrie is vaak plaatsgebonden en dus is de uitstoot van verontreinigende stoffen ook vaak plaatsgebonden. Dat wil niet zeggen dat de verontreinigende stoffen (door middel van de lucht) zich zeer ver kunnen verspreiden. Doordat deze groep vaak op bepaalde plaatsen (geconcentreerd) aanwezig is zijn eventuele voorzieningen eenvoudiger te maken.

Landbouw

Deze groep gebruikt veel kunstmest om de grond te verbeteren en uiteraard machines die voor de nodige uitstoot zorgen. Een overmaat aan kunstmest zorgt voor de nodige vervuiling in zowel de lucht als in het grond,- drink- en oppervlaktewater.

Verder zorgen de dieren (koeien, varkens, schapen, kippen etc.) voor de nodige uitstoot van ammoniak en methaan.

Huishoudens

Deze groep (dat zijn we allemaal) gebruikt al dan niet indirect ook veel (fossiele) brandstoffen. Ieder dag koken we eten, gebruiken we (warm) water etc. Voor deze zaken zijn (fossiele) brandstoffen nodig. Maar ook de kleinere zaken die wij gebruiken zoals verf, schoonmaakmiddelen, lijmen, geurverfrisser, mottenballen, deodorant, bouwmaterialen, etc. In deze producten zitten Vluchtige Organische Stoffen afgekort (VOS) en die verontreinigen de lucht aanzienlijk.



Figuur 3.15 Uitstoot door middel van het verbranden van aardgas (www.gs24.pl)

Planten

Ook planten stoten (vervuilende) stoffen uit met name O_2 en CO_2 . Het mooie van planten is dat ze de CO_2 ook weer opnemen en omzetten in andere stoffen (o.a. O_2). Dit proces wordt fotosynthese genoemd. Als planten dood gaan kan er onder zuurstofloze omstandigheden (moerassen) methaan ontstaan.

Vuilverwerking

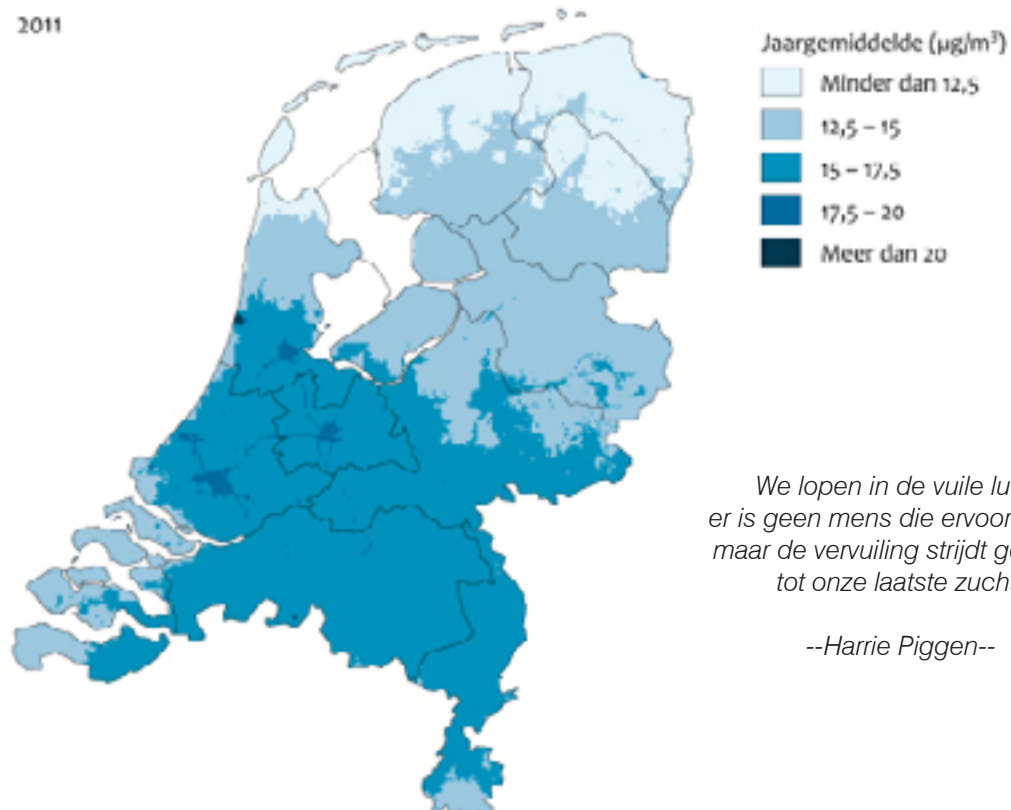
Deze groep stoot bij de verwerking van het afval CO_2 uit. Door het afval te scheiden kan het efficiënt gerecycled worden en dus de uitstoot beperkt blijven. Een voorbeeld: als groenafval op bulten wordt gegooid ontstaat er bij het rottingsproces methaangas (CH_4). Door het groenafval direct te composteren komt er CO_2 vrij. Het gas CH_4 werkt 23 maal sterker op klimaatveranderingen dan CO_2 . Bovendien kunnen planten CO_2 weer omzetten in O_2 (zuurstof). Tel uit je winst!



Figuur 3.16 Afvalverwerking (foto van Rapport Projectrapportage Afvalverwerking, Ministerie van Sociale zaken en Werkgelegenheid)

Concentratie fijnere fractie van fijn stof ($PM_{2,5}$)

2011



*We lopen in de vuile lucht
er is geen mens die ervoor vlucht,
maar de vervuiling strijdt geducht
tot onze laatste zucht!*

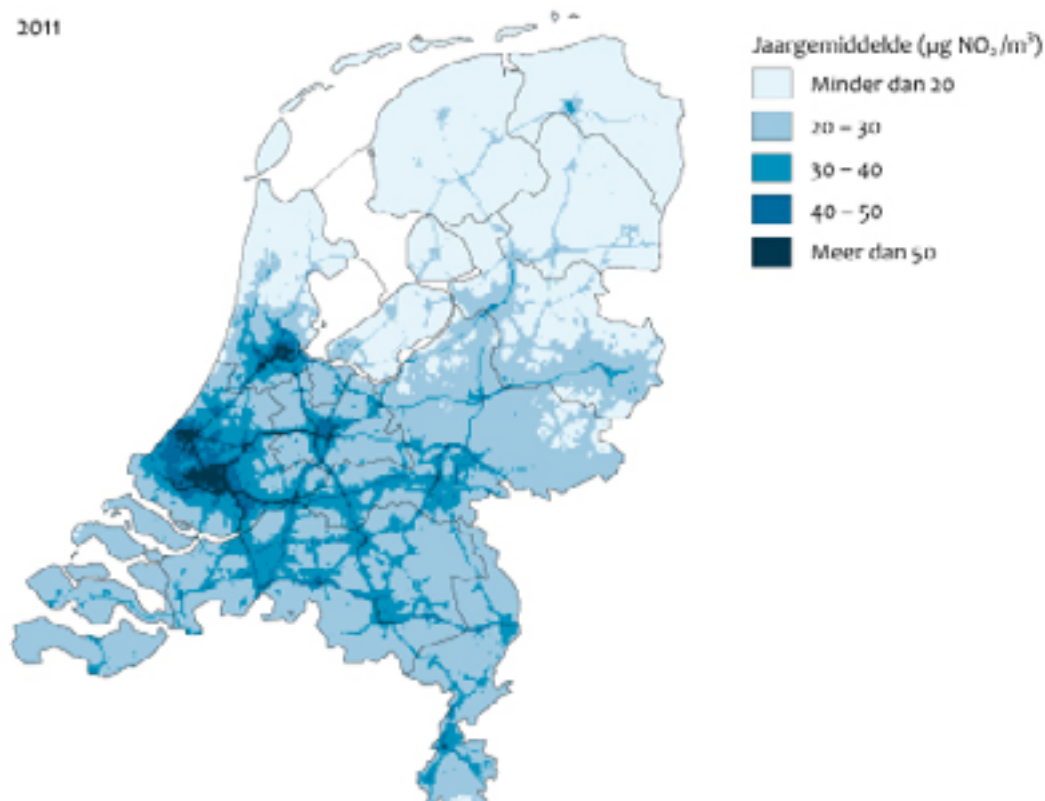
--Harrie Piggen--

Bron: RIVM, 2012.

PBL/apr12/0532
www.compendiumvoordeleefomgeving.nl

Stikstofoxidenconcentratie

2011



Bron: RIVM, 2012.

PBL/apr12/0493
www.compendiumvoordeleefomgeving.nl

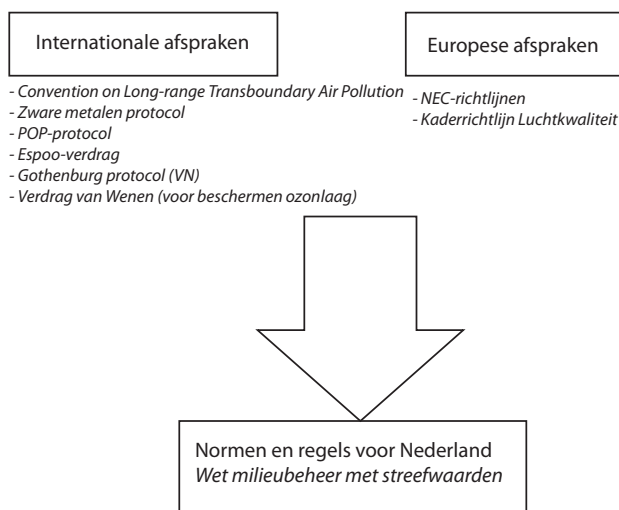
4 Luchtkwaliteit

Er zijn vele regels en normen voor luchtkwaliteit. De luchtkwaliteitsnormen geven de risicogrenzen aan voor stoffen in de buitenlucht. Ze zijn gericht op de bescherming van mens en ecosysteem. De normen voor de luchtkwaliteit hebben zowel betrekking op de concentratie rond de emissiebron als op de concentratie in de wijde omgeving.

Zo zijn er normen op wereldwijd-, europees-, landelijk- en zelfs regionaal niveau. In dit hoofdstuk wordt alleen de Nederlandse wet milieubeheer besproken. De internationale en Europese regels zijn beschreven in bijlage 2.

4.1 Wet milieubeheer

Alle internationale en Europese normen, regels en overeenkomsten waar Nederland zich aan houdt zijn verwerkt in de wet Milieubeheer. Deze wet beschrijft alle aspecten die met het milieu te maken hebben zoals bodem, water, gevaarlijke stoffen, lucht, storten van afval, gebruik van meststoffen etc. Deze wet bestaat uit eenentwintig hoofdstukken en twee bijlagen. Zo zijn in bijlage twee de streefwaarden van de uitstoot van de vervuilende stoffen te vinden. Uit de wet milieubeheer zijn weer regelingen en besluiten ontstaan zoals besluit bodemkwaliteit, de meststoffenwet en besluit handel in emissierechten. Kortom de milieuwet dient als basis waarop andere regels, normen en besluiten zijn gebaseerd. De wet is dermate groot, dat deze globaal wordt besproken. (Overheid 2013) De normen in bijlage twee van de wet milieubeheer zijn belangrijke waarden. Deze zijn dan ook te vinden in bijlage 3.



Figuur 4.1 De Wet milieubeheer is gebaseerd op Internationale,- Europese- en Nederlandse regels

Enkele passages / samenvattingen uit de wet milieubeheer: (Overheid 2013)

Hoofdstuk 4

§4.2 het nationale milieubeleidsplan

Artikel 4.3

1 Onze Ministers stellen ten minste eenmaal in de vier jaar een nationaal milieubeleidsplan vast, dat met het oog op de bescherming van het milieu richting geeft aan van rijkswege in de eerstvolgende vier jaar te nemen beslissingen en dat naar verwachting tevens richting zal kunnen geven aan in de daarop volgende vier jaar te nemen beslissingen. (geciteerd uit overheid, 2013)

§ 4.3 het nationale beleidsplan

Bij de aanleg van wegen, oliepipleidingen en andere bouwplannen die grote gevolgen kunnen hebben voor het milieu, is een zogeheten milieueffectrapportage (MER) verplicht. Leidt een project tot teveel milieuvervuiling of het verdwijnen van natuur, dan kan de Rijksoverheid besluiten geen vergunning te geven. Een MER* is verplicht bij onder meer de bouw van:

- olieraffinaderijen;
- kerncentrales;
- chemische fabrieken;
- autowegen, spoorwegen, vliegvelden, pijpleidingen voor gas of olie en dammen.

(geciteerd uit overheid, 2013)

*De MER is ondergebracht in de Nederlandse wet milieubeheer en gebaseerd op de Europese richtlijn voor milieubeoordeling van bepaalde openbare en particuliere projecten.

Volgens de wetmilieubeheer paragraaf 5.2.5 artikel 5.19 lid 4 vindt op de locatie van rijbanen van wegen en een middenberm van wegen geen beoordeling van de luchtkwaliteit plaats, tenzij voetgangers normaliter toegang tot de middenberm hebben.

Hoofdstuk 16 beschrijft broeikasgassen en broeikasemissierechten. Dit betekent dat een bedrijf emissierechten moet kopen om vervuilende stoffen (o.a. CO₂ en NO_x) uit te mogen stoten. Op die manier hopen de overheden, dat bedrijven de uitstoot gaan beperken en de lucht dus minder vervuild wordt. (overheid, 2013)

Opmerking van Harrie Piggen

Het idee van een MER is goed maar zo zijn er recentelijk in Groningen (begin 2013) door gasboringen veel aardbevingen. Veel gebouwen zijn daar niet tegen bestand. De risico's waren vooraf

bekend (o.a. bij overheid en de NAM), alleen hadden ze niet gedacht dat de bevingen zo hevig zouden zijn. De gedupeerden krijgen niet of nauwelijks geld. Hieruit kun je opmaken dat het economische belang groter is dan het belang om het milieu te beschermen. Conclusie: een paar mensen verdienen veel geld en veel mensen (bewoners) zitten straks met de schade. De huizen zijn dan ook niks meer waard door de schade omdat niemand in zo'n gebied wil wonen.

4.2 Hoe wordt de luchtkwaliteit in Nederland gemeten?

Verspreid over Nederland zijn verschillende meetpunten die de kwaliteit van de lucht meten. Zij meten de aanwezigheid van bepaalde (vervuilende stoffen) in de lucht. Door deze gegevens te verwerken in een landelijke kaart wordt het inzichtelijk, waar, wanneer en in welke mate de (vervuilende) stoffen aanwezig zijn.

De normen zijn gebaseerd op Europese regelgeving. In Nederland zijn deze normen vertaald in bijlage twee van de wet milieubeheer. Er wordt een onderscheid gemaakt tussen grenswaarde¹, streefwaarde², alarmpel³ en informatiedrempel⁴.

(Compendium voor de leefomgeving, 2013)

De regelgeving kent een aantal begrippen:

1 “Grenswaarde; een niveau dat op basis van wetenschappelijke kennis wordt vastgesteld met als doel schadelijke gevolgen voor de menselijke gezondheid en/of het milieu als geheel te vermijden, te voorkomen of te verminderen en dat binnen een bepaalde termijn moet worden bereikt en wanneer het eenmaal is bereikt, niet meer mag worden overschreden. Overschrijding van de grenswaarde is, behoudens de situaties die expliciet in de richtlijn zijn omschreven, niet toegestaan. Een grenswaarde is op te vatten als een resultaatverplichting. Als een lidstaat in gebreke blijft, kan de Europese Commissie een zaak bij het Europese hof aanhangig maken.” (Geciteerd uit: Compendium voor de leefomgeving, 2013)

2 “Streefwaarde; een niveau dat is vastgesteld met het doel om schadelijke gevolgen voor de menselijke gezondheid en/of het milieu als geheel te vermijden, te voorkomen of te verminderen en dat voor zover mogelijk binnen een bepaalde termijn moet worden bereikt. Een streefwaarde is op te vatten als een inspanningsverplichting.” (Geciteerd uit: Compendium voor de leefomgeving, 2013)

3 “Alarmpel: een niveau waarboven een kortstondige blootstelling risico's inhoudt voor de gezondheid van de bevolking als geheel en bij het bereiken waarvan door de lidstaten onmiddellijk stappen dienen te worden ondernomen.” (Geciteerd uit: Compendium voor de leefomgeving, 2013)

4 “Informatiedrempel: een niveau waarboven kortstondige blootstelling een gezondheidsrisico inhoudt voor bijzonder kwetsbare bevolkingsgroepen en voor wie een onmiddellijke en toereikende informatievoorziening noodzakelijk is.” (Geciteerd uit: Compendium voor de leefomgeving, 2013)

4.2.1 Wat verstaan we onder schone lucht?

Het begrip schone lucht is een relatief begrip. Immers wat persoon A schoon vindt kan persoon B niet schoon vinden. Daarom zijn er vanuit de Europese unie regels opgesteld die door Nederland zijn vertaald in de wet milieubeheer. De gestelde normen vanuit de Europese unie zijn overgenomen in deze wet. De normen geven aan hoeveel vervuilende stoffen er in de lucht voor mogen komen. Uitgaande van deze feiten kun je dus zeggen, dat als de waarden van vervuilende stoffen onder de norm zijn, er sprake is van “schone” lucht.

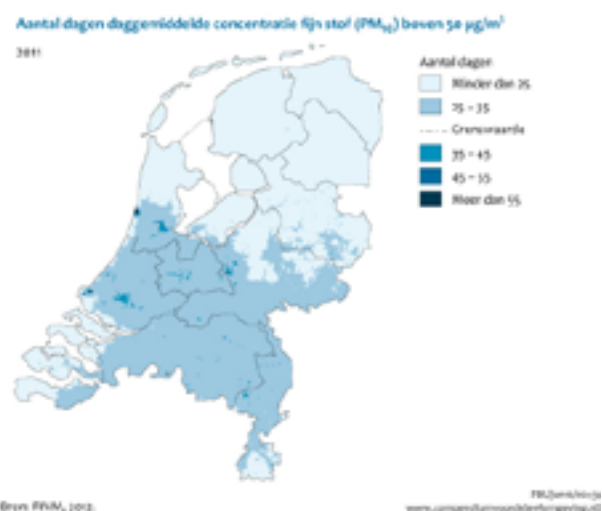
4.2.2 Welke normen zijn er voor luchtkwaliteit?

Er zijn veel verschillen normen voor luchtkwaliteit. Deze normen zijn afkomstig van de internationale en Europese verdragen en regelgeving. Voor zeer veel stoffen is een norm beschreven. Deze lijst is dan ook zeer groot. De belangrijkste normen zijn in bijlage 3 te lezen.

4.3 Luchtkwaliteit in Nederland

4.3.1 Fijnstof PM10 daggemiddelde

“De achtergrondconcentraties van fijnstof blijven in het overgrote deel van Nederland onder de grenswaarde voor daggemiddelde concentraties (niet meer dan 35 dagen met een daggemiddelde concentratie boven $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Alleen in verstedelijkte gebieden en in gebieden met veel agrarische activiteiten in het midden en zuiden van Nederland wordt de norm overschreden. Dit komt vooral door de bijdrage van lokale bronnen. In het midden en zuiden van Nederland wordt de norm vaker overschreden dan in het noorden. Dit komt



Figuur 4.2 Aantal dagen daggemiddelde concentratie fijnstof PM10

door een hogere uitstoot van fijnstof in het zuiden van Nederland en een grotere invloed van bronnen in het omringende buitenland.” (Geciteerd uit *Compendium voor de leefomgeving, 2013a*)

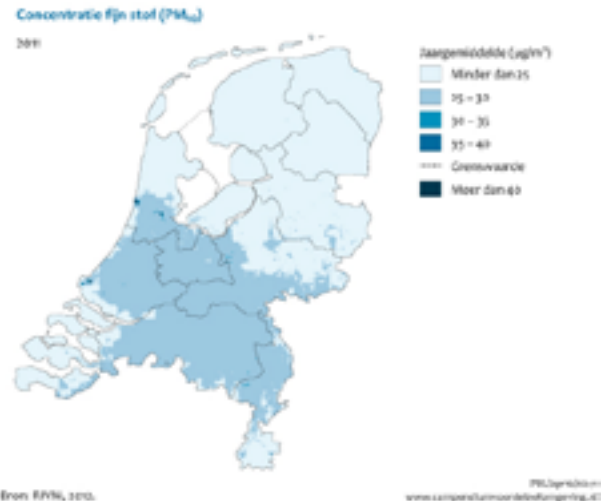
“In 2011 zijn op de meetstations geen overschrijdingen van de grenswaarde van fijnstof voor het daggemiddelde waargenomen. Tot 11 juni 2011 gold een verhoogde grenswaarde: niet meer dan 35 dagen met een daggemiddelde concentratie van $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Tot deze datum werd het aantal dagen met een daggemiddelde boven $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ geteld en daarna het aantal dagen met een daggemiddelde boven $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. De beide aantallen zijn vervolgens gecumuleerd tot een jaartotaal. Het hoogste aantal dagen op deze wijze berekend bedroeg 28. Zou er in 2011 geen sprake van derogatie zijn geweest dan zou er op zes straatstations een overschrijding van de grenswaarde zijn geweest.” (Geciteerd uit *Compendium voor de leefomgeving, 2013a*)

Trend

Er is een jaarlijkse variatie in het aantal dagen waarop de concentratie van $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ wordt overschreden. Op langere termijn valt een duidelijke daling in het aantal dagen met een concentratie boven de norm waar te nemen. De variatie van jaar op jaar wordt vooral veroorzaakt door meteorologische verschillen tussen de jaren.” (Geciteerd uit *Compendium voor de leefomgeving, 2013a*)

“De concentratie van $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ voor het daggemiddelde is volgens de waarnemingen vanaf 2007 tot en met 2010 op geen enkel station op meer dan de 35 toegestane dagen overschreden. In 2011 is echter het daggemiddelde op zes straatstations meer dan 35 dagen boven het daggemiddelde van $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ geweest. Formeel is dit echter geen overschrijding geweest, omdat de Europese Commissie in 2009 Nederland uitstel (derogatie) heeft verleend voor de zone Midden en de agglomeraties Amsterdam/Haarlem, Utrecht en Rotterdam/Dordrecht. Tot 11 juni 2011 gold daar een verhoogde grenswaarde: niet meer dan 35 dagen met een daggemiddelde concentratie van $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Voor de beoordeling in 2011 werd voldaan aan de grenswaarde, werd tot 11 juni 2011 het aantal dagen met een daggemiddelde boven $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en daarna het aantal dagen met een daggemiddelde boven $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ geteld. De beide aantallen werden vervolgens gecumuleerd tot een jaartotaal. Op deze wijze berekend zijn er ook in 2011 geen overschrijdingen van de grenswaarde voor het daggemiddelde geweest.” (Geciteerd uit *Compendium voor de leefomgeving, 2013a*)

4.3.2 PM10 jaargemiddelde



Bron: RIVM, 2012.

PM10 jaargemiddelde
www.compendiumvoorleefomgeving.nl

Figuur 4.3 Jaargemiddelde concentratie fijnstof PM10

Concentraties

De kaart geeft een beeld van de grootschalige, jaargemiddelde concentratie van fijnstof (PM10) in 2011 per gebied van $1 \times 1 \text{ km}$. De lokale verhogingen langs bijvoorbeeld drukke verkeerswegen en -straten zijn op deze kaart niet weergegeven. Het landsdekkende beeld voor jaargemiddelde fijnstofconcentraties laat in 2011 alleen nog zeer lokaal overschrijdingen zien van de grenswaarde.” (Geciteerd uit: *Compendium voor de leefomgeving 2013b*)

“De concentratie neemt in grote lijnen vanuit het noorden naar het zuiden toe, door de toenemende invloed van bronnen in Nederland en het aangrenzende buitenland. De jaargemiddelde achtergrondconcentratie van fijnstof bedroeg in 2011 gemiddeld over Nederland $24 \mu\text{g}/\text{m}^3$. De achtergrondconcentratie wordt gevormd door de regionale (grootschalige) en stedelijke achtergrond. In de buurt van lokale bronnen zoals in straten of stallen kan de norm worden overschreden door de lokale bijdrage aan de fijnstofconcentratie.” (Geciteerd uit: *Compendium voor de leefomgeving 2013b*)

“Berekeningen in het kader van het Nationaal Samenwerkingsverband Luchtkwaliteit (NSL; zie ook onder bij ‘Trend’, ‘Normstelling’ en ‘Beleid’) op een hogere ruimtelijke resolutie dan de kaart, geven aan dat in 2011 langs 12 kilometer weg of straat (per rijrichting) nog overschrijding van de grenswaarde voor het jaargemiddelde voorkwam; in alle gevallen gaat het om stedelijke wegen. Ook bij veehouderijen treden overschrijdingen van de grenswaarde voor het jaargemiddelde op, dit gebeurde in 2011 in de nabijheid van 64 intensieve veehouderijen. De overschrijding wordt deels veroorzaakt, doordat de gezamenlijke uitstoot van fijnstof in gebieden met intensieve veehouderij al verhoogd is (Beijk et al, 2011).” (Geciteerd uit: *Compendium voor de leefomgeving 2013b*)

4.3.3 Fijnstof PM 2.5 jaargemiddelde

“Fijnstof en de fijnere fractie van fijnstof

In mei 2008 is de nieuwe richtlijn van de Europese Unie voor de luchtkwaliteit van kracht geworden. De nieuwe richtlijn is een samenvatting van de bestaande Europese luchtkwaliteitsregelgeving met onder andere grenswaarden voor fijnstof (PM₁₀). Daarnaast legt de nieuwe richtlijn normen vast voor de fijnere fractie van fijnstof (PM_{2,5}). De laatste grootte wordt in de regelgeving ook wel aangeduid met ‘fijne zwevende deeltjes’.”

(Geciteerd uit :Compendium voor de leefomgeving, 2013b)

“PM₁₀ en PM_{2,5} zijn een redelijke benadering voor deeltjes met een diameter kleiner dan 10 respectievelijk 2,5 micrometer (μm). Voor een volledige definitie zie bij ‘Technische toelichting’. PM_{2,5} is de fijnere fractie van PM₁₀. PM₁₀ bevat naast PM_{2,5} ook een grove fractie. Dit zijn de deeltjes met een diameter boven de 2,5 maar onder de 10 μm . Dit deel wordt ook wel aangeduid met de term PM_{10-2,5} of PM_{2,5-10}. Deze grovere fractie bestaat hoofdzakelijk uit deeltjes die op een mechanische wijze in de lucht zijn gekomen. Voorbeelden hiervan zijn bodemstof en zeezout.”

Geciteerd uit :Compendium voor de leefomgeving, 2013b)

“Concentraties

De beschikbaarheid van meetresultaten van PM_{2,5} in Nederland is nog beperkt, uitspraken over concentratieniveaus zijn daarom onzeker. Ook de schattingen van PM_{2,5}-concentraties met modellen bevatten waarschijnlijk nog aanzienlijke onzekerheden. Op basis van de huidige inzichten liggen de gemiddelde achtergrondconcentraties van PM_{2,5} in Nederland tussen de 13 en 18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. In het stedelijk gebied zijn de PM_{2,5}-concentraties hoger, namelijk 14-22 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Lokaal in straten en langs snelwegen zijn de concentraties verhoogd door de bijdrage van verkeer aan de PM_{2,5}-concentraties. PM_{2,5}-concentraties in straten zijn voor 2011 berekend op 15 tot maximaal 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Gemeten PM_{2,5}-concentraties in straten liggen tussen 17 tot 21 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Het beperkte aantal metingen van PM_{2,5} langs straten en wegen in Nederland en nabijgelegen regio's in België en Duitsland geven een range van 18-28 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.”

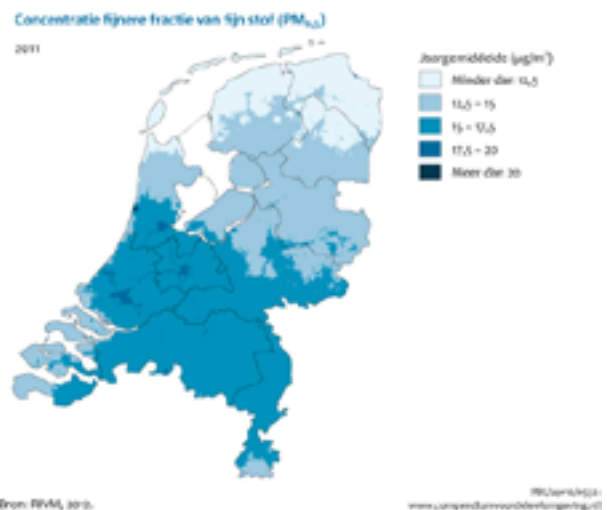
Geciteerd uit :Compendium voor de leefomgeving, 2013b)

“Bronnen

De grootste bronbijdrage aan de emissies van primair PM_{2,5} in Nederland komt van het verkeer gevolgd door de zeescheepvaart op het Nederlandse deel van het continentale plat. In de emissieregistratie is een inventarisatie beschikbaar van de emissies van primair PM_{2,5} in Nederland. De emissies van PM_{2,5} worden berekend op basis van de verhoudingen in emissies van primair PM_{2,5} en primair PM₁₀ per sector en deelsectoren. Voor 2008 bedroeg de emissie van primair PM_{2,5} in Nederland

ongeveer 19 miljoen kg.”Geciteerd uit :Compendium voor de leefomgeving, 2013b)

“PM_{2,5} bestaat (gemiddeld) voor 45% uit zogeheten secundair anorganisch aerosol (ammoniumsulfaat, ammoniumnitraat). Ammoniumsulfaat en ammoniumnitraat zijn deeltjesvormige stoffen die worden gevormd uit de gassen zwaveldioxide, stikstofdioxide, die vrijkomen bij verbrandingsprocessen en uit ammoniak, dat vooral vrijkomt uit dierlijke mest. Daarnaast is er een bijdrage van ongeveer 30% uit koolstofverbindingen. Koolstofverbindingen, waaronder roet, zijn deels van natuurlijke oorsprong en deels het gevolg van menselijk handelen, waaronder verkeer en industrie. Koolstofverbindingen worden als deeltjes uitgestoten bij verbrandingsprocessen en kunnen ook in de lucht worden gevormd uit vluchtige organische stoffen. Recent is onderzoek afgerond naar de bronnen van PM_{2,5} in Nederland (Hendriks et al., 2012).” Geciteerd uit :Compendium voor de leefomgeving, 2013b)



Bron: RIVM, 2012.

PM2.5 jaargemiddelde (2011)

Figuur 4.4 Jaargemiddelde concentratie fijnstof PM_{2,5}

4.3.4 Stikstofdioxide

“Stikstofdioxide in lucht, 1990-2011

Metingen laten zien dat in 2011 op veel straatstations de norm voor de jaargemiddelde concentratie van stikstofdioxide (40 $\mu\text{g NO}_2/\text{m}^3$) is overschreden. Berekeningen geven aan dat langs honderden kilometer weg of straat de grenswaarde waarschijnlijk is overschreden.” (Geciteerd uit Compendium voor de leefomgeving, 2013c)

“Concentraties

De kaart geeft een beeld van de grootschalige, jaargemiddelde concentratie van stikstofdioxide (NO₂) in 2011 per gebied van 1 x 1 km. De lokale verhogingen langs bijvoorbeeld drukke verkeerswegen en straten zijn op deze kaart niet weergegeven. De concentratie van stikstofdioxide bleef in 2011 in het overgrote deel van Nederland onder de norm van de Europese Unie voor het

jaargemiddelde ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$).” (Geciteerd uit *Compendium voor de leefomgeving*, 2013c)

“De hoogste gemeten concentraties worden waargenomen op de straatstations van het Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit (LML). In 2010 lag de gemeten concentratie op vijf van de dertien stations boven de grenswaarde van $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$. De grenswaarde werd op geen van de andere stations overschreden.” (Geciteerd uit *Compendium voor de leefomgeving*, 2013c)

“Berekeningen in het kader van het Nationaal Samenwerkingsverband Luchtkwaliteit (NSL; zie ook onder bij ‘Trend’, ‘Normstelling’ en ‘Beleid’) geven aan dat in 2010 langs 585 kilometer weg of straat (per rijrichting) nog overschrijding van de grenswaarde voor het jaargemiddelde voorkwam (Beijk et al., 2011).” (Geciteerd uit *Compendium voor de leefomgeving*, 2013c)

“Voor de blootstelling aan piekconcentraties van stikstofdioxide geldt een grenswaarde voor het uurgemiddelde van $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Deze waarde mag niet vaker dan 18 maal per kalenderjaar worden overschreden. Overschrijding van deze grenswaarde is in Nederland al lang niet meer aan de orde, zo blijkt uit metingen. Wel komt het nog incidenteel voor dat uurwaarden boven de $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ worden bereikt. In 2010 was dit het geval op twee stations: een uur op het stadsstation Den Haag-Rebekestraat en op twee achtereenvolgende uren op het straatstation Amsterdam-Prins Bernhardplein.” (Geciteerd uit *Compendium voor de leefomgeving*, 2013c)

“Trend

De afname van de grootschalige stikstofdioxide-concentratie in de afgelopen twintig jaar bedroeg afgaande op de meetresultaten van de regionale stations 30% (zie afbeelding ‘Trend 1990-2010’). Voor stads- en straatstations was de daling 40 respectievelijk 20%.” (Geciteerd uit *Compendium voor de leefomgeving*, 2013c)

“Een recente trendanalyse leert dat in de periode 1993-2010 de concentraties gemiddeld over Nederland met $0,4 \pm 0,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per jaar daalden. Voor de periode 1999-2010 bedroeg de daling minder, namelijk $-0,3 \pm 0,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per jaar. Indien de trend in de gemeten concentraties zich voortzet, zal in 2015 waarschijnlijk nog steeds niet op alle plaatsen aan de grenswaarde kunnen worden voldaan. Daarvoor is een sterkere afname nodig dan tot nog toe is opgetreden (Hoogerbrugge et al., 2011).” (Geciteerd uit *Compendium voor de leefomgeving*, 2013c)

“De daling is het resultaat van maatregelen bij de doelgroepen verkeer, industrie en energie. De

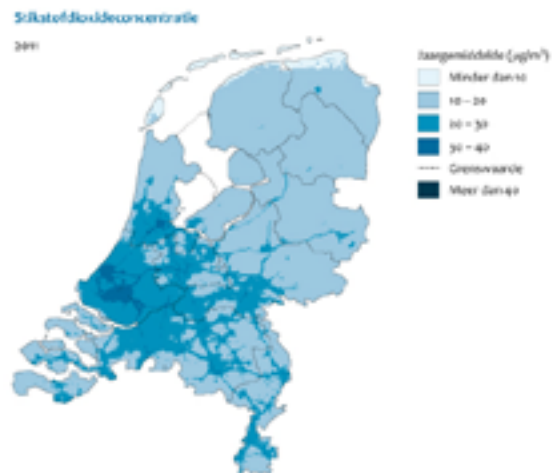
mindere daling bij binnenstedelijke stations en de algemene afvlakking van de daling in de afgelopen jaren, houdt mogelijk verband met de introductie van fijnstoffilters, gecombineerd met oxidatiekatalysatoren, bij welke combinatie het aandeel stikstofdioxide in de uitlaatgassen stijgt. Ook wordt de daling in emissies van stikstofoxiden door verkeer, onder andere door strengere eisen aan emissies door motorvoertuigen, voor een deel teniet gedaan door een toename van het aantal gereden kilometers.

Metingen van stikstofdioxide worden in het Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit sinds 1978 uitgevoerd. Uit de langetermijntrend (zie afbeelding ‘Trend 1978-2010’) valt af te leiden dat aanvankelijk tot aan het eind van de jaren tachtig de concentraties weinig veranderden. De introductie van katalysatoren bij personenauto’s was een maatregel die vanaf het eind van de jaren tachtig leidde tot een duidelijke daling van de concentraties. Ook is duidelijk dat sinds het begin van de metingen de concentraties in het noorden van Nederland altijd lager zijn geweest dan in het midden en het zuiden van het land.” (Geciteerd uit *Compendium voor de leefomgeving*, 2013c)

“Berekeningen in het kader van het Nationaal Samenwerkingsverband Luchtkwaliteit (NSL; zie ook onder) geven aan dat in 2015 nog maar langs 14 kilometer weg of straat (per rijrichting) overschrijding van de grenswaarde voor het jaargemiddelde zal voorkomen. Op één overschrijdingslocatie na bevonden doen alle overschrijdingen zich dan voor langs binnenstedelijke of provinciale wegen (Beijk et al., 2011).” (Geciteerd uit *Compendium voor de leefomgeving*, 2013c)

“Bronnen

Verkeer en vervoer vormen verreweg de belangrijkste bron van stikstofoxiden waarvan stikstofdioxide deel uitmaakt. Dit is ook de reden dat



Figuur 4.5 Jaargemiddelde stikstofdioxide concentraties

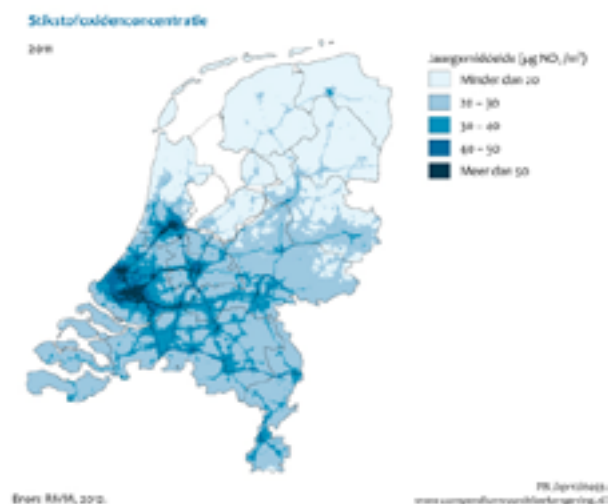
juist in (drukke) straten en in de nabijheid van snelwegen hoge concentraties van stikstofoxiden (en stikstofdioxide) worden waargenomen. Een tweede belangrijke groep van emittenten vormen de industrie, raffinaderijen en de energiesector. “ (Geciteerd uit *Compendium voor de leefomgeving*, 2013c)

4.3.5 Stikstofoxiden in lucht, 1990-2011

“De gemiddelde gemeten concentratie van stikstofoxiden (NOx) in Nederland bedroeg in 2011 $23 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (uitgedrukt als stikstofdioxide, NO₂). In steden kunnen de concentraties tot $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ oplopen.” (Geciteerd uit *Compendium voor de leefomgeving*, 2013c)

“Concentraties

De gemiddelde gemeten concentratie van stikstofoxiden (NOx= NO [stikstofmonoxide] + NO₂ [stikstofdioxide]) in Nederland bedroeg in 2011 $24 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (uitgedrukt als stikstofdioxide, NO₂). De concentratie is daarmee 50% lager dan in 1990. De daling lijkt de laatste tien jaar minder dan in de tien jaar daarvoor. “ (Geciteerd uit *Compendium voor de leefomgeving*, 2013c)



Figuur 4.6 Jaargemiddelde stikstofoxidenconcentratie

“Trend

De daling van de concentratie van stikstofoxiden in binnenstedelijke straten is overigens sterker dan in regionale gebieden. De daling is ook sterker dan die van de concentraties van stikstofdioxide. Dit komt omdat de emissies van stikstofoxiden door het verkeer dalen maar dat het aandeel stikstofdioxide daarin relatief stijgt. De daling is het resultaat van maatregelen bij verkeer, industrie en energie.” (Geciteerd uit *Compendium voor de leefomgeving*, 2013c)

“Normstelling

De Europese Unie heeft voor de bescherming van natuur tegen langdurige blootstelling aan stikstofoxiden een grenswaarde vastgesteld voor de jaargemiddelde concentratie van stikstofoxiden. Deze grenswaarde van $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ is van toepassing op gebieden met een oppervlak van ten minste 1000 km² die op een afstand van minimaal 5 km van

bebouwing, inrichtingen of autosnelwegen zijn gelegen (EU, 2008; Wet Milieubeheer, 2007).

De Europese luchtkwaliteitsrichtlijn stelt een aantal eisen aan de omvang van natuurgebieden en aan de locatie van monsternemingspunten van stikstofoxiden. Nederland heeft de richtlijn in dit opzicht strikt geïnterpreteerd met als uitkomst dat er in Nederland vrijwel geen natuurgebieden konden worden gevonden waarvoor de meetverplichting geldt. Natuurgebieden in Nederland waarop de Europese norm voor stikstofoxiden wel van toepassing is, liggen in het uiterste noorden van het land. In deze natuurgebieden is geen sprake van een overschrijding. Van het natuurareaal in het overige deel van Nederland werd in 2011 circa 50% van het totale oppervlak blootgesteld aan stikstofoxidenconcentraties hoger dan $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$.” (Geciteerd uit *Compendium voor de leefomgeving*, 2013c)

“Effecten

Nadelige effecten op de natuur zijn schade aan het blad door omzetting van stikstofoxiden in het bladvocht in stikstofverbindingen. Daarnaast vindt in de atmosfeer omzetting plaats van stikstofdioxide (NO₂) naar nitraataerosol, waarmee een bijdrage wordt geleverd aan de verzuring en vermeting van bodem en oppervlaktewater. Het nitraataerosol levert ook een bijdrage aan de fijnstofconcentraties. “ (Geciteerd uit *Compendium voor de leefomgeving*, 2013c)

4.3.6 Ozon

“De ozonconcentraties liggen onder de streefwaarde voor de bescherming van de volksgezondheid. Vooral in de eerste helft van de negentiger jaren zijn de ozonconcentraties sterk afgenomen. De laatste jaren laten geen verdere daling zien.” (Geciteerd uit *Compendium voor de leefomgeving*, 2013e)

“De situatie in 2011

De Europese streefwaarde voor blootstelling van de bevolking aan hoge ozonconcentraties (O₃) bedraagt $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ voor de hoogste 8-uursgemiddelde ozonconcentratie per dag. Deze concentratie mag vanaf 2010, gemiddeld over drie jaar, niet vaker dan 25 dagen per kalenderjaar worden overschreden. De doelstelling voor de lange termijn - overigens zonder richtjaar - is dat de hoogste 8-uursgemiddelde ozonconcentratie op geen enkele dag in een kalenderjaar meer boven de $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ komt.” (Geciteerd uit *Compendium voor de leefomgeving*, 2013e)

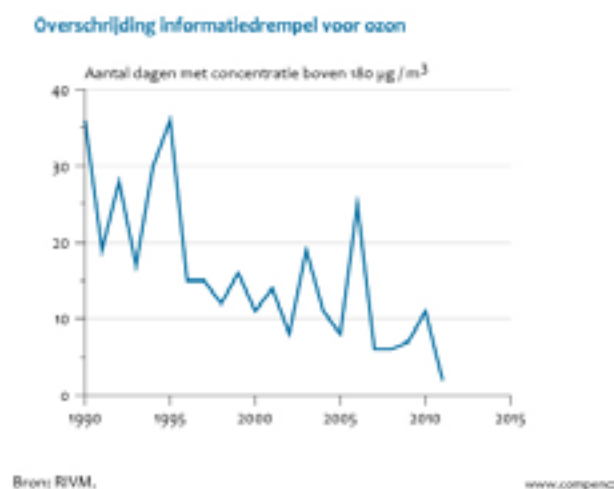
“De kaart voor 2011 is gebaseerd op waarnemingen op de regionale meetstations. De ruimtelijke verdeling van de ozonconcentraties over Nederland in 2011 en gemiddeld over de laatste drie jaar verschilt in relatieve termen niet veel. Net als in de vorige jaren zijn de hoogste concentraties in het zuiden en zuidoosten gemeten. Gemiddeld over

Nederland lag het aantal dagen met overschrijding op een relatief laag niveau. Het driejarig gemiddelde over de jaren 2009 t/m 2011 ligt in geheel Nederland onder de streefwaarde. De langtermijndoelstelling wordt echter nog steeds overschreden.” (Geciteerd uit *Compendium voor de leefomgeving*, 2013e)

“Het hoogste aantal dagen met een 8-uursgemiddelde ozonconcentratie boven de $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$, is in 2011 (18 maal) gemeten op een regionaal station in Overijssel. In het westen en noorden van Nederland was het aantal overschrijdingsdagen het laagst. Het regionale beeld kan overigens van jaar tot jaar sterk verschillen. Wel is het zo dat in stedelijke gebieden in het algemeen minder overschrijdingen worden gemeten. In steden leiden de verhoogde emissies aan stikstofoxiden (onder andere door het verkeer) tot een atmosferisch-chemische reactie waarbij de ozonniveaus worden verlaagd. (Geciteerd uit *Compendium voor de leefomgeving*, 2013e)”



Figuur 4.7 Blootstelling bevolking aan ozon



Figuur 4.8 Overschrijding informatiedrempel voor ozon

Overschrijding alarmdrempel ozon



Bron: RIVM.

www.compendiumvoorleefomgeving.nl

Figuur 4.9 Overschrijding alarmdrempel voor ozon

4.3.7 Ammoniak

“Ammoniak in lucht, 1993-2011

De gemiddelde berekende ammoniakconcentratie bedroeg in 2011 $8,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$. De laagste concentraties (minder dan $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$) doen zich voor aan de kust; de hoogste (tot enkele tientallen $\mu\text{g}/\text{m}^3$) in gebieden met intensieve veehouderij.”

(Geciteerd uit: *Compendium voor de leefomgeving*, 2013f)

“Concentraties

Op de kaart zijn duidelijk belangrijke emissiegebieden van ammoniak te onderscheiden. De landelijk gemiddeld berekende ammoniakconcentratie in 2011 was $8,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$. De hoogste concentraties zijn berekend voor de gebieden met intensieve veehouderij zoals de Gelderse Vallei, het oosten van Noord-Brabant en het noorden van Limburg, gevolgd door de Achterhoek en het veenweidegebied.” (Geciteerd uit: *Compendium voor de leefomgeving*, 2013f)

“Ammoniak in lucht wordt op acht locaties gemeten. De meetresultaten van deze locaties zijn al naar gelang de hoogte van de emissie in het betreffende gebied samengenomen. De metingen van de ammoniakconcentratie in matig en zwaar belaste gebieden laten de laatste tien jaar geen opvallende veranderingen zien (zie tweede figuur). De variatie van jaargemiddelde concentraties in de afgelopen jaren is bijna geheel te verklaren uit verschillen in meteorologische omstandigheden tussen de jaren.” (Geciteerd uit: *Compendium voor de leefomgeving*, 2013f)

“De berekende concentratie is 23% lager dan het gemiddelde van de gemeten concentraties ($11,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Dit komt omdat gebieden met hoge ammoniakconcentraties zijn oververtegenwoordigd in de locaties van de meetpunten. Bovendien heeft het berekende gemiddelde betrekking op het gehele oppervlak van Nederland. In het Meetnet Ammoniak in Natuurgebieden (MAN)

worden sinds begin 2005 concentraties van ammoniak in een aantal natuurgebieden gemeten. Het gaat om Natura 2000-gebieden die kwetsbaar zijn voor stikstofdepositie. Veel van deze gebieden bevinden zich op arme zandgronden. In dit meetnet worden met zogeheten passieve samplers maandgemiddelde ammoniakconcentraties in 51 natuurgebieden met in totaal meer dan 300 meetpunten bepaald. Hierdoor is het mogelijk geworden op meer plaatsen in Nederland dan voorheen uitspraken te doen over de gemeten ammoniakconcentraties in lucht. Resultaten hiervan zullen binnenkort in deze indicator worden gepubliceerd.” (Geciteerd uit: *Compendium voor de leefomgeving*, 2013f)

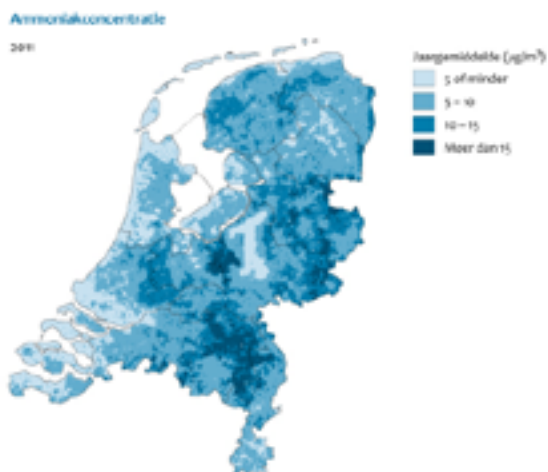
“Bronnen

De agrarische sector is de belangrijkste bron voor atmosferisch ammoniak. Ammoniak komt vrij uit stallen, mestopslagen, tijdens beweiding en bij aanwending van mest op het land. Deze bronnen stoten totaal 90% van al het ammoniak uit.” (Geciteerd uit: *Compendium voor de leefomgeving*, 2013f)

“Gedrag in de atmosfeer

Ammoniak is een gasvormige component. Het kan uit de atmosfeer door droge en natte depositie worden verwijderd. Ammoniak wordt in de atmosfeer ook gedeeltelijk in ammoniumaerosol omgezet; ook hiervan zorgen droge en natte depositie voor de verwijdering. Ammoniumaerosol is een vorm van zogeheten secundair aerosol; het levert een bijdrage aan de fijnstofconcentraties. “ (Geciteerd uit: *Compendium voor de leefomgeving*, 2013f)

“Ammoniak kent een relatief korte verblijftijd in de atmosfeer, in emissiegebieden in de orde van enkele uren. Veel ammoniak komt bovendien op een geringe hoogte in de atmosfeer. Op deze hoogte zijn de turbulentie en de windsnelheid lager dan op grotere hoogten waardoor de verdunning langzaam gaat en er dus bij de bron hoge concentraties kunnen optreden. Hierdoor zal dan ook een relatief groot deel van het geëmitteerde ammoniak weer



Bron: RIVM.

Figuur 4.10 Ammoniak concentratie

dicht bij de bron worden gedeponneerd. Het omzettingsproduct van ammoniak in de atmosfeer, ammoniumaerosol, kent daarentegen een atmosferische verblijftijd in de orde van dagen. “ (Geciteerd uit: *Compendium voor de leefomgeving*, 2013f)

“Ammoniak kan in de lucht worden omgezet in ammoniumdeeltjes en draagt zo bij aan de concentratie van het secundair aerosol en dus van fijnstof. “ (Geciteerd uit: *Compendium voor de leefomgeving*, 2013f)

“Er is geen normstelling voor ammoniakconcentraties in lucht. Ammoniak draagt bij aan depositie van zuur en stikstof. Om de doelen voor de depositie te bereiken heeft de overheid beleid ontwikkeld om de emissie van verzurende stoffen te verminderen. Voor ammoniak is het beleid vooral gericht op middelvoorschriften om de emissie uit stallen, mestopslagen en bij mesttoediening te beperken. De afgelopen 15 jaar is veel nieuw beleid ingezet dat aangrijpt op de ammoniakemissie.

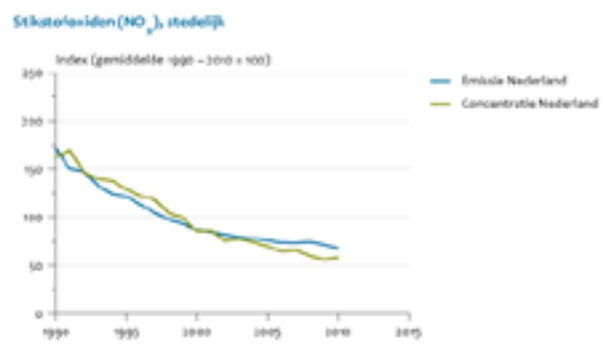
De EU heeft als onderdeel van haar luchtkwaliteitsbeleid een maximale emissie per land van een aantal luchtverontreinigende stoffen, waaronder ammoniak, vastgesteld (EU, 2001). Dit is het zogenaamde Nationaal Emissie Plafond (NEC).” (Geciteerd uit: *Compendium voor de leefomgeving*, 2013f)

4.3.8 Relatie ontwikkelingen emissies en luchtkwaliteit

De resultaten van de luchtkwaliteitsmetingen in het Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit (LML) bieden de mogelijkheid een onafhankelijke validatie uit te voeren op trends in emissies en de hieruit berekende concentraties. Hieruit blijkt dat zowel de emissies als de gemeten concentraties van stikstofoxiden, fijnstof, ammoniak en zwaveldioxide een dalende trend vertonen. (Geciteerd uit *Compendium voor de leefomgeving*, 2013g)

Stikstofoxiden

De ontwikkeling in de concentraties van stikstofoxiden (NO_x) in drukke straten loopt in de pas met de ontwikkeling van de verkeersemissies in steden. Alleen zijn de concentraties de laatste jaren



Bron: RIVM.

Figuur 4.11 Stikstofoxidenconcentratie door de jaren heen

iets sterker gedaald dan de gerapporteerde emissies. De grootschalige concentratie van stikstofoxiden daalt, gemiddeld over Nederland, wel met hetzelfde tempo als de emissies. (Geciteerd uit *Compendium voor de leefomgeving*, 2013g)

Ammoniak

Het dalende verloop van de emissie van ammoniak (NH_3) tot ongeveer 2000 wordt teruggevonden in het concentratieverloop. Vanaf dat jaar vertonen de

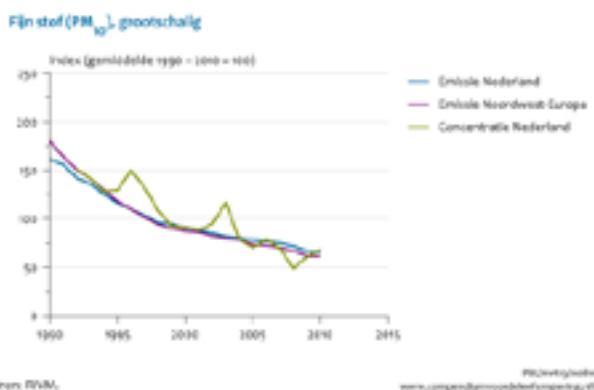


Figuur 4.12 Ammoniakconcentratie door de jaren heen

emissies en metingen geen duidelijke op- of neergaande trend. Het concentratieverloop wordt mede beïnvloed door meteorologische omstandigheden. Deze kunnen sterk van jaar tot jaar verschillen en kunnen de trend in de emissies maskeren. (Geciteerd uit *Compendium voor de leefomgeving*, 2013g)

“Fijnstof

Bij fijn stof (PM_{10}) is de relatie tussen emissies en concentraties minder eenvoudig te leggen. De vergelijking is daarom onzekerder. Berekening van de concentraties met atmosferische verspreidingsmodellen geven ongeveer de helft van de gemeten regionale concentraties van fijnstof. Dit verschil wordt grotendeels veroorzaakt door natuurlijke bronnen, waarvan de emissies niet goed bekend zijn. Onderzoek heeft geleerd dat er een redelijk sluitende balans van de herkomst van fijnstof is. De vergelijking tussen emissies en gemeten concentraties voor fijnstof wordt tevens bemoeilijkt, doordat een deel van fijnstof in de lucht

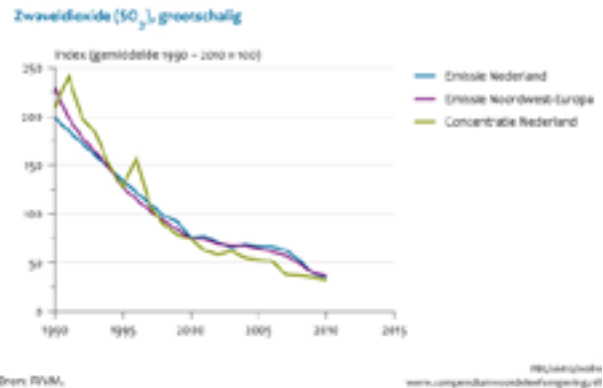


Figuur 4.13 Fijnstofconcentratie van PM_{10} door de jaren heen

wordt gevormd door de reactie van stikstofoxiden (NO_x), ammoniak (NH_3) en zwaveldioxide (SO_2). Deze vormingsprocessen verlopen niet geheel evenredig met de emissies. Verder resulteren van jaar-op-jaar variërende meteorologische omstandigheden in fluctuaties in concentraties.” (Geciteerd uit *Compendium voor de leefomgeving*, 2013g)

Zwaveldioxide

Voor zwaveldioxide (SO_2) lopen emissies in Noordwest-Europa en concentraties in Nederland



Figuur 4.14 Zwaveldioxideconcentratie door de jaren heen

verspreidingspatroon van zwaveldioxide zijn de emissies in Noordwest-Europa bepalender voor de concentraties in Nederland dan de Nederlandse emissies.

4.4 Hoeveel en wat voor stoffen hebben mens en machines nodig?

De verbruikswaarden van de verschillende groepen verschillen sterk. Ook binnen eenzelfde groep verschillen de waarden sterk. Dit is te verklaren door de diversiteit binnen de groep. Als we bijvoorbeeld kijken naar de groep dieselauto's kunnen we deze opdelen in auto's met een grote of kleine motor, leeftijd, staat van de auto etc. Hetzelfde geldt voor mensen. Grote en of volwassen mensen verbruiken meer zuurstof dan kleine mensen. Ook maakt het nog al wat uit of je actief bezig bent of stilstaat. Daarom zijn de getallen in deze paragraaf richtinggevend.

Mens

“Voor de uitwisseling van zuurstof en kooldioxide stroomt er per minuut ongeveer 6 tot 10 liter verse lucht de longen in, waar per minuut, ook tijdens rust, ongeveer 0,3 liter zuurstof door de longblaasjes aan het bloed wordt afgegeven. Tegelijkertijd wordt evenveel kooldioxide uit het bloed aan de longblaasjes afgestaan en uitgeademd. Tijdens lichamelijke inspanning kan er wel 100 liter lucht per minuut worden ingeademd, waaruit dan per minuut 3 liter zuurstof kan worden gehaald. De snelheid waarmee het lichaam zuurstof opneemt is een bruikbare maat voor de totale hoeveelheid energie die het lichaam verbruikt.” (geciteerd uit *Merckmanuaal*, 2013) Het verschil in zuurstofopname kan dus vertienvoudigen!

Voertuigen

Voertuigen stoten CO₂ uit. De CO₂ uitstoot verschilt per type brandstof.

De belangrijkste autobrandstoffen zijn op dit moment benzine, diesel en autogas. De hoeveelheid CO₂-uitstoot die vrijkomt bij de verbranding van 1 liter brandstof is volgens (*Ecolpg*, 2013) als volgt:

Voor diesel is dit 2.640 kg CO₂/litr (1 ton CO₂-uitstoot p/379 ltr diesel)

Voor Benzine 2,392 kg CO₂ p/ltr (1 ton CO₂-uitstoot p/418 ltr benzine)

Autogas 1,665 kg CO₂ p/ltr (1 ton CO₂-uitstoot p/601 ltr autogas)

“Over het algemeen wordt de CO₂-uitstoot van auto's uitgedrukt in grammen per kilometer. Dit cijfer is afhankelijk van het brandstofverbruik van de individuele auto. Op dit moment bedraagt in Europa de gemiddelde CO₂-uitstoot van nieuwe personenauto's gemiddeld zo'n 160 gram per kilometer.” (*geciteerd van Ecolpg*, 2013)
De CO₂ uitstoot van vrachtwagens verschilt sterk: De volgende CO₂ waarde volgens *Verbeek. R et al.*, 2012)

- lichte truck	350 gr / km
- middelzware truck	650 gr / km
- zware truck	900 gr / km
- trekker oplegger	950 gr / km

Voertuigen stoten ook NO_x uit. Deze waarden verschillen sterk per type brandstof, leeftijd van de auto en de desbetreffende emissie-eisen (euroklasse) waarop de motor is gemaakt. Verder stoten voertuigen o.a. door slijtage van banden, remblokken etc. fijnstof uit. Deze uitstoot is onafhankelijk van het type motor en bedraagt 0.016 g/km voor auto's (*Verbeek. R et al.*, 2012) Bovenop dit percentage komt nog een percentage fijnstof dat de motor uitstoot.

Huishouden

Bij het verbruik van 1 kWh elektriciteit wordt 662 gram CO₂ uitgestoten. Om 1 m³ aardgas te verbranden wordt 1778 gram CO₂ uitgestoten. (*Milieucentraal*, 2013)

4.5 Evolutionaire ontwikkeling van deze milieubenadering

De milieubenadering verschilt door de jaren heen. Halverwege de 19e eeuw was er weinig / geen aandacht voor de leefbaarheid / luchtkwaliteit. Na de tweede wereldoorlog, in de wederopbouwfase, is er de opkomst van de industrie. De landbouw werd minder.

In de jaren 1960 kregen de mensen meer te besteden en er werd daardoor ook meer weggegooid. Alles werd verpakt waardoor er veel afval was. Iedere gemeente had dan ook een eigen

vuilnisstort die vaak stonk naar brandend afval. Het gevolg van deze gebeurtenissen was zure regen en grootschalige water-, lucht- en bodemverontreiniging.

Daarom werd er in 1970 de wet luchtvervuiling opgericht. Door de oliecrisis in 1973 steeg de olieprijs explosief waardoor de overheid een plan bedacht voor wind- en zonne-energie. Echter de vervuiling werd steeds groter. Dit kwam ook door de opkomst van de auto. De brandstoffen bevatten lood en deze werden dan ook massaal uitgestoten. Als reactie hierop werd lood in de brandstof verboden.

Ook het afvalprobleem werd steeds groter. Daarom is men gescheiden gaan inzamelen (zo rond 1995) Vanaf die tijd zijn er veel wetten, regels en normen bedacht om het milieu te verbeteren. Er zijn veel internationale en Europese regels gemaakt omdat je dit probleem niet landelijk kunt oplossen. In 1997 kwamen de eerste hybridenauto's op de markt. Pas in 2006 toen er subsidie voor deze auto's kwam werden deze veelvuldig verkocht. De rol van de overheid is ook veranderd. Waar het vroeger pas na een gebeurtenis reageerde, stelt het nu regels en wetten op die de maatschappij sturen. Zoals normen voor de uitstoot van stoffen waaraan iedereen zich moet houden.

Een uitgebreid figuur over de evolutie van de milieubenadering is te vinden in bijlage 7

4.6 Welke maatregelen worden er genomen om luchtvervuiling te verminderen?

In deze pragraaf staat beschreven welke maatregelen er in de bestaande situatie worden genomen om luchtvervuiling tegen te gaan.

- Milieuzone voor vrachtwagens

Gemeente kunnen met milieuzones (delen van) de stad afsluiten voor de meest vervuulende vrachtwagens. (*Rijksoverheid*, 2013)

- Emissiehandel stikstofoxiden (NO_x)

Dit is een systeem van NO_x-emissiehandel en is in 2005 ingevoerd om de industrie te stimuleren minder NO_x uit te stoten. Dit systeem wordt vanaf 2014 afgeschaft. (*Rijksoverheid*, 2013)

- Emissiehandel CO₂.

Een systeem waarbij sommige bedrijven gratis emissierechten krijgen en indien ze meer CO₂ uitstoten emissierechten bij moet kopen. (*Rijksoverheid*, 2013)

- Doorstroom verbeteren

- Binnenstad autovrij maken / bepaald type auto's weren uit stedelijke omgeving.

- Oude auto's, vrachtauto's, brommers, scooter etc. weren uit luchtvervuilde gebieden.
- Subsidie voor schone trucks en bussen
Ondernemers kunnen subsidie krijgen als ze een nieuwe truck of bus kopen die voldoet aan de Euro VI-norm
(Rijksoverheid, 2013)
- Subsidie voor schone taxi's en bestelwagens
Ondernemers kunnen subsidie krijgen als zij een nieuwe bestelwagen of taxi kopen die voldoet aan bepaalde emissie-eisen.
(Rijksoverheid, 2013)
- Plaatsen / verplichtstellen van roetfilters en katalysatoren. Al dan niet in combinatie met subsidiemaatregelen.
- Elektrisch rijden promoten. Al dan niet in combinatie met subsidiemaatregelen
- Efficiënter maken van stedelijke distributie
- Door op strategische plaatsen laad- en losplaatsen te creëren, gevolg minder hinder, minder stagnatie van het verkeer en dus minder vervuiling.
- Duidelijke bewegwijzering voor de gebruikers (voorkomt "zoekverkeer")



Figuur 4.15 Bierboot Utrecht (www.dok21.nl)

- Distributie over water (b.v. bierboot in Utrecht)
- Gebruik maken van regionale producten betekent minder vervoer en dus minder uitstoot.
- Vergroten / promoten van Carpoolen.
- Luchtkwaliteit gevoelige bestemmingen
In de buurt van provinciale wegen en rijkswegen gelden beperkingen voor de bouw van zogenaamde gevoelige bestemmingen. Dit is geregeld in een externe link: Besluit gevoelige

bestemmingen (luchtkwaliteitseisen). Vestiging of uitbreiding van gevoelige bestemmingen, zoals een school, is alleen toegestaan als wordt voldaan aan de grenswaarden voor de luchtkwaliteit. Als dat niet het geval is mag het aantal mensen dat wordt blootgesteld aan verhoogde concentraties luchtverontreinigende stoffen, niet toenemen.
(Rijksoverheid, 2013)

4.6.1 Conclusie

Deze opsomming is niet volledig maar het geeft wel een goed beeld. Het blijkt dat er veel maatregelen worden genomen die te maken hebben met het verkeer. Ik heb geen maatregelen gevonden over de inzet van groen voor het verbeteren van luchtkwaliteit. Misschien ook niet zo verwonderlijk. Het is immers ook logischer om de grootste vervuilers bij de bron aan te pakken. Groen kan de lucht alleen zuiveren van vervuilde stoffen die al uitgestoten zijn.



Kleine stad

Ik loop weer door de stad van toen
méér beton en minder groen
de stad is stil, het is al laat
ik wandel door een lege straat

een hand schuift 'n gordijn opzij
'n late fietser fietst voorbij
hij zegt gedag en verder niets
de tuba achterop zijn fiets

--Toon Hermans--



Hij kwam van het platteland
Van de stad had hij geen verstand
Toch wilde hij even genieten van het stadse leven
Hij ging naar de stad maar daar is hij niet lang gebleven!

--Harrie Piggen--

5 Verschil tussen stad en buitengebied / platteland

In dit hoofdstuk wordt het verschil tussen stad en dorp (platteland) beschreven. Het doel is om inzicht te krijgen in de verschillen tussen stad en dorp, om zo tot mogelijk nieuwe oplossingen voor het luchtprobleem te komen.

Allereerst wat is een stad? Volgens de dikke van Dale is het "een uitgebreid, samenhangend geheel van huizen en gebouwen". Het is dus verstedelijkt gebied. Maar wanneer is het een stad? En wanneer is het platteland / landelijk gebied? Deze begrippen zijn dus subjectief, er is geen eenduidig antwoord op deze vragen. Ook verschilt het per gebied / land. Wat de ene persoon een stad vindt, vindt de ander een dorp. Mijn definitie van een stad is zoals de dikke van Dale het verwoord " een uitgebreid, samenhangend geheel van huizen en gebouwen".

5.1 Opbouw van een dorp en stad

Hoe zijn een dorp en een stad ontstaan, waarom op die manier en waarom zijn ze zo opgebouwd als ze zijn opgebouwd?

Een stad is ontstaan vanuit een oerlandschap. Langzamerhand zijn de eerste mensen onderkomens gaan bouwen. Vaak ontstonden deze onderkomens in de buurt van kruisingen en wegen omdat daar veel bedrijvigheid was zoals markten. Langzamerhand werden er meer onderkomens / huizen bijgebouwd. Dit kon zijn vanwege de

delen gebouwd. Door de innovatie en mechanisatie in de landbouw in de 19e eeuw kon er meer en gezonder voedsel geproduceerd worden. De bevolking groeide snel en door de industriële revolutie trokken steeds meer (veelal laaggeschoolde landarbeiders) naar de stad. Tot eind 19e eeuw was dit ongeorganiseerd en waren de woningen van slechte kwaliteit. Daarom is in 1901 de woningwet van kracht. Het doel van deze wet was om bewoning van slechte en ongezonde woningen onmogelijk te maken en de bouw van goede woningen te bevorderen. Vanaf dit moment is de overheid zich gaan bemoeien met de volkshuisvesting in Nederland. (Wikipedia, 2013) Iedere tijd heeft zijn eigen gedachten over stadsuitbreidingen. De wijken / steden zijn gebouwd met de gedachtegang en problemen van die tijd. Dit is goed te zien in de steden. Door de verschillende gedachtegangen (en problemen) door de jaren heen ontstaat er geen eenheid in de stad. De ene tijdperiode kende bijvoorbeeld grote groenstroken en brede wegprofielen, de andere tijdperiode weer kleine groenstroken en kleine wegprofielen. Ook de opkomst van gemotoriseerd verkeer zorgde voor de nodige problemen. Een probleem als luchtkwaliteit kun je alleen maar oplossen als je de stad in zijn geheel en met één overkoepelend plan /gedachte opbouwt.

5.2 Aantal huizen per hectare

Met de definitie van een stad "een uitgebreid, samenhangend geheel van huizen en gebouwen" mag het duidelijk zijn dat er meer huizen per hectare staan dan in het buitengebied. Doordat het oppervlak in de stad beperkt is en er veel mensen wonen wordt er veel in de hoogte gebouwd. Deze hoogbouw zorgt ervoor dat het percentage verharding toeneemt en dus ook de warmteopslag. Bovendien verbruiken al deze huishoudens gas, water, elektriciteit etc. dus de uitstoot van (schadelijke) stoffen neemt toe. Door de vele huizen en hoogbouw is er ook veel ruimte nodig voor auto's waardoor het verhard oppervlak ook toeneemt. In het buitengebied / dorp zijn minder huizen dan in de stad. Hoogbouw is er niet of nauwelijks te vinden. Veel auto's staan dan ook op particulier terrein. Doordat er minder huizen per hectare zijn (waardoor de huizen verder uit elkaar staan) is er dus ook minder uitstoot van schadelijke stoffen.

5.3 Wegen en Verkeer

Door de vele inwoners en het hoge percentage hoogbouw in een stad zijn er veel wegen nodig om al het verkeer in goede banen te leiden. Steden



Figuur 5.1 Arnhem de Sabelpoort 1742 foto boven buiten en foto onder binnen de Sabelpoort (bron. www.spgs.nl)

ligging, grondsoort, economie etc. De bodem was bepalend voor de opbouw en de locatie van de elementen. Wegen en huizen werden op de hogere

kennen dus een grote en intensieve wegenstructuur. Van grootschalige snelwegen en stroomwegen tot hoofd- en wijkontsluitingsweg naar buurtwegen. Ieder weg heeft zijn eigen kenmerken en eisen. Een stroomweg is bijvoorbeeld breder dan een buurtweg en heeft geen voetpad.

Bij grote steden zien we vaak dat er een ringweg aanwezig is. Dit is een weg die (zoals de naam al aangeeft) rondom de stad loopt zodat de gebruikers ieder deel van de stad (de wijken) snel kunnen bereiken.

Om de wegenstructuur goed te begrijpen is het noodzakelijk om kennis te hebben van een aantal belangrijke gebeurtenissen. Rond 1908 waren er zo'n 5000 auto's. Iedereen maakte gebruik van dezelfde weg.



Figuur 5.2 Vroeger maakte al het verkeer gebruik van dezelfde weg. (bron. Veers Erfgoed)

In 1924 waren er 30.936 auto's. Pas na de oorlog, toen de welvaart toenam en auto's voor meer mensen beschikbaar waren steeg het autogebruik explosief. We zien dan ook dat rond deze tijd veel (snel)wegen zijn aangelegd. Ook werden er veel ringwegen (rondom de stad), parkways (langs of door de stad) en stadsautowegen (geheel autonoom van grote breedte door de stad) aangelegd. De bereikbaarheid werd dus sterk vergroot. Door de opkomst van de auto is het verkeer gescheiden om de veiligheid te vergroten. Dus voor iedere groep een eigen weg zoals fietspaden, wandelpaden autowegen etc. (Meyer. H et al)

In 1960 was er ruim baan voor de auto. Er werden brede autostroken aangelegd om filevorming te voorkomen. Door het massale gebruik van de auto ontstond tevens een nieuw probleem, grootschalige vervuiling. Daarom werden er in 1970 veel binnensteden autoluw gemaakt en werden er woonerven aangelegd. In 1980 werd de 30 km zone geïntroduceerd met de bijbehorende drempels. In 1995 werden veel minirotonden aangelegd om de veiligheid verder te vergroten. (Meyer. H et al)

Uit bovenstaande gebeurtenissen blijkt dat de



Figuur 5.3 Stadsautoweg N331 foto gemaakt in Zwolle op de fietsbrug

wijken, steden en de omgeving volledig zijn aangepast aan de auto / de grote verkeersstromen. De wijken die in die tijd werden gebouwd, zijn dan ook met het inzicht van toen gemaakt. Dit is nu nog terug te zien. Wijken die voor de grote opkomst van de auto zijn aangelegd (bijvoorbeeld een historische binnenstad) kunnen de grote hoeveelheid auto's niet aan en worden dus vaak autoluw gemaakt of er is eenrichtingsverkeer van kracht. Gedurende deze periode is er niet of nauwelijks rekening gehouden met het doorluchten van steden en de gevolgen van de uitstoot van verontreinigende stoffen, omdat men zich hier later pas bewust van werd.

We kunnen wegen globaal in vier basispatronen onderverdelen:

Lineair:

- > goedkoop, hoge verkeersintensiteit,
- > langzaam verkeer, hoge sociale veiligheid

(Meyer. H et al)

Radiaal en tangentiaal:

- > verspreid verkeer
- > Voor autonetwerk, rondweg, ringweg

(Meyer. H et al)

Radiaal:

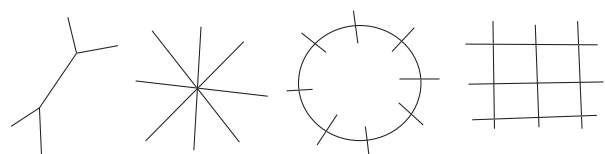
- > voor langzaam verkeer en collectief vervoer

(Meyer. H et al)

Grid:

- > Onderlegger voor ontsluitingsstructuur
- > Snel omrijden, grote spreiding en flexibiliteit
- > Nadeel veel kruisingen

(Meyer. H et al)



Figuur 5.4 Schematische weergave van de vier basispatronen van links naar rechts, lineair, radiaal, tangentiaal en grid. (gebaseerd op Meyer. H et al, pagina 66)

De opsomming staat in volgorde van groot- naar kleinschalig. Snel- en stroomwegen zijn vaak lineair, de hoofd-, wijk- en rondwegen van radiaal en tangentiaal en de buurtwegen zijn vaak in de vorm van een grid. Het spreekt voor zich, dat er met deze opbouw geen sprake is van doorluchting.

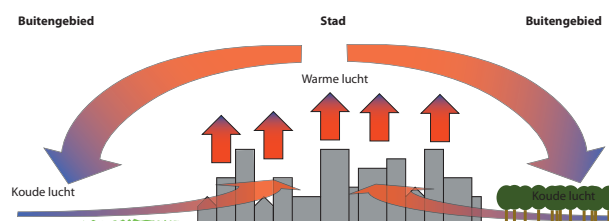
Als we naar een dorp kijken dan zijn de wegen vaak lineair. De opbouw is in de loop der jaren niet of nauwelijks veranderd. Vaak bestaan dorpswegen uit een lineaire weg met aan weerszijde huizen. (lintbebouwing) In de dorpskern bestaat de wegenstructuur vaak uit een grid. De doorluchting is dus nagenoeg optimaal. Dit heeft ook met de omvang te maken. Doordat dorpen relatief klein zijn kan de wind makkelijk door het gehele dorp waaien dit in tegenstelling tot de grotere stad. Verder hebben dorpen geen radiale en tangentiële wegen omdat de dorpskern dermate klein is dat dit niet nodig is. Ook is het verkeer in het dorp niet of nauwelijks gescheiden. (Vracht)auto's, trekkers, brommers, fietsen en wandelaars etc. bevinden zich vaak op dezelfde weg.



Figuur 5.5 Plattelandsweg, Paaslooregel, Willemsoord

5.4 Warmte

Misschien is het u wel eens opgevallen, dat het in een stad vaak warmer is dan in het buitengebied. Dit fenomeen wordt een warmte eiland of op zijn engels urban heat island genoemd. Deze hitte heeft nadelige gevolgen voor de luchtkwaliteit en dus ook voor de mens. Het temperatuursverschil tussen stad en de landelijke omgeving kan oplopen tot 7 á 12 graden! (Floor. K, 2011) De stad heeft dus een ander klimaat dan de omgeving.



Figuur 5.6 Werking warmte eiland of urban heat island

De invloed van hitte op de gezondheid beperkt zich niet alleen tot hogere sterftecijfers. "Extreme hitte wordt door veel mensen als onaangenaam ervaren en kan leiden tot ademhalingsproblemen, kramp,

uitdroging en uitputting." (geciteerd van Floor. K, (2011)

Als gevolg van het te warme stadsklimaat gaat men airco of koeling gebruiken waardoor het energiegebruik toeneemt en er dus meer broeikasgassen / vervuilende stoffen in de lucht komen. Bovendien is de kans op smogvorming bij hogere temperaturen zeer groot. Een warmte eiland heeft ook positieve kanten en dan met name in de winter. Doordat de temperatuur hoger is dan de landelijke omgeving is het energieverbruik lager. Ook is het goed voor de moraal en de gezondheid. Maar de nadelen wegen niet op tegen de voordelen. (Floor. K, 2011)

Maar waarom is het in de stad dan veel warmer?

De reden dat het in de stad warmer is dan in het buitengebied heeft te maken met het percentage donkere materialen (verhard oppervlak, de materiaalkeuze), de relatief lage windsnelheden, veel huizen, en dus veel verwarming, gemotoriseerd vervoer, airconditioning en fabrieken. De stad

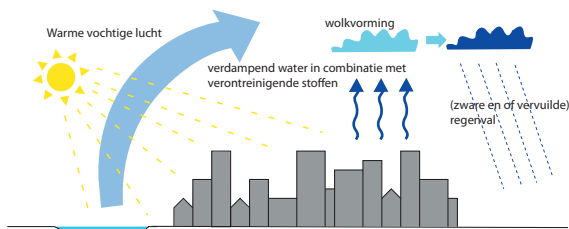
Een stad is niet altijd warmer dan de omgeving. Zo is een woestijnstad koeler dan de omgeving omdat er meer groen aanwezig is. Groen heeft dus een verkoelende werking. Floor. K, (2011)

bestaat grotendeels uit bebouwing en verharding en in mindere mate uit groen. Het buitengebied bestaat grotendeels uit groen en in mindere mate uit bebouwing en verharding. Bovendien waait het er relatief hard. Kortom exact het tegenovergestelde. "Een stad is niet altijd warmer dan de omgeving. Zo is een woestijnstad koeler dan de omgeving omdat er meer groen aanwezig is. Groen heeft dus een verkoelende werking". (Floor. K, 2011)

Door het grote verharde oppervlakte in de stad wordt er veel warmte opgenomen door de gebouwen, wegen etc. Deze warmte wordt in de avond (als het koeler wordt) weer langzaam "losgelaten".

Groene elementen nemen minder warmte op waardoor het er dus ook koeler is / blijft. Het verschil kan 25 tot 50 graden bedragen! Een voorbeeld, als je in de zomer met je blote voeten op bestrating loopt is dat (te) heet. Loop je daarentegen op gras dan is het veel koeler. Dit is kleinschalig, moet u nagaan wat dit op stadsniveau kan betekenen! De warme opstijgende lucht in combinatie met het chemische mengsel (van de uitstoot), zorgen ervoor dat de wolken en verontreinigende stoffen tientallen kilometers verder pas neerdalen. De vervuiling die zich in de stad bevindt kan dus via de lucht / wolken naar andere

gebieden trekken. *The Atmospheres of cities* (2006)
Doordat groen schaduw geeft kan het zonlicht niet op de verharding (wegen, gebouwen, auto's etc.) komen waardoor het urban heat island effect wordt verminderd.



Figuur 5.7 Een warmte eiland zorgt voor "vuile" regen (figuur is gebaseerd op artikel *The Atmospheres of cities*, 2006)

5.5 Water

Sommige dorpen of steden zijn ontstaan langs waterwegen. Een voorbeeld hiervan is Amsterdam ofwel de dam in de Amstel. Het was een overslagpunt van de zeevaart naar binnenvaart. Dit bood werkgelegenheid en zodoende werden er voorzieningen en huizen gebouwd. Water had vroeger dus een functionele betekenis. Tot het jaar 1000 was er acceptatie van het water. Men accepteerde de waterwegen en bouwde daar dus omheen. Kortom de natuurlijke balans werd zo



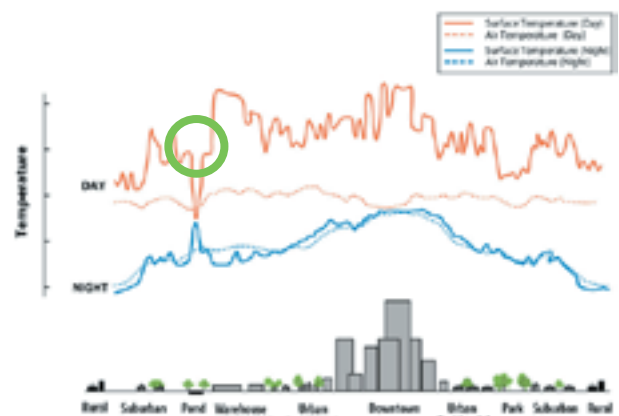
Figuur 5.8 Steenwijk schilderij boven uit het jaar 1948 en foto onder van 2013. De grachten zijn dichtgegooid om de parkeergelegenheid te vergroten. Dit heeft grote impact op het stadsklimaat.



Figuur 5.9 Leven met het water in Kalenberg.

min mogelijk verstoord. Bovendien was water een uitstekend verdedigingsmiddel. In de 13e en 14e eeuw werden er dijken aangelegd om gebieden droog te krijgen en daarmee geschikt te maken voor landbouw en de bouw van huizen. De 16e t/m de 18e eeuw kenmerkt zich door de verovering op het water. Er werden windmolens gebouwd om de polders droog te houden en daardoor kon het water in de stad ook ververs worden. In de 19e en 20ste eeuw was de gedachte totale controle / beheersing van het water. Grachten, singels etc. werden gedempt en de afvoer ging voortaan via het riool, putten etc. (Meyer. H et al)

Het gevolg van dit handelen is dat er eind 20e begin 21e eeuw veel wateroverlast en waterrampen zijn geweest. Men kreeg het besef dat een totale controle van het water niet mogelijk was en ging zoeken naar "nieuwe methoden" zoals



Figuur 5.10 Water behoudt min of meer dezelfde temperatuur, kortom water zorgt voor verkoeling, zie groene cirkel. (bron: US Environmental Protection Agency)

waterberging (wadi). Er zijn zelfs weer grachten open gegraven die eerder waren gedempt. Kortom wat zijn we in al die jaren opgeschoten?

Ook in het buitengebied / de dorpen is deze trend te zien. Veel waterwegen werden gedempt zodat het percentage landbouwgrond werd vergroot. Om het land voldoende te ontwateren werd er massaal gedraineerd.

Water heeft ook een belangrijke verkoelende eigenschap. Immers als we het warm hebben gaan we naar het water toe, eten een waterijsje of drinken een glas water. Doordat er in de loop der jaren veel waterwegen uit de bebouwde omgeving zijn verdwenen, is ook de verkoelende werking hiervan afgenomen, waardoor het stadsklimaat ook warmer is geworden.

Ook kan een groot wateroppervlak dienen als waterbuffer bij zware regenval. Het water moet dan wel voldoende plaats hebben. Dit is niet altijd aanwezig omdat veel watergangen zijn gedempt. Als "oplossing" hebben we nu infiltratiekratten, IT-riolering (IT = infiltratie), grindkoffers etc. die ondergronds worden aangebracht.

Water trekt behalve mensen ook dieren, planten en insecten aan. Sommige insecten, zoals muggen kunnen vervelend zijn. Er is bekend dat in nieuwbouwwijken, waar het groen nog niet op orde is, er vaak overlast is van spinnen omdat de natuurlijke vijand (vogels) nog niet aanwezig zijn. Het water en dus ook de dieren zijn van wezenlijk belang voor de (lucht)kwaliteit van de stad.



Figuur 5.11 Watergangen en natuurlijke oever in de wijk Stadshagen, Zwolle.

5.6 Verharding

In onze steden is een groot oppervlak verhard zoals de wegen (asfalt, klinkers etc.) gebouwen, het trottoir en dakpannen of het dakleer van het dak. (Kunst.O, 2013) Het grote aandeel van verhardingen heeft diverse negatieve gevolgen in vergelijking met halfverharding / groen.



Figuur 5.12 Ook het dakleer en de gebouwen worden tot verharding gerekend.

De overdaad aan verhardingen heeft ervoor gezorgd dat het water veel sneller afstroomt. Daar waar de regen valt komt het niet in de bodem en waar het zich verzamelt, kan het voor overlast en soms voor schade zorgen.

"Verhardingen kennen grote fluctuaties in temperatuur. Vooral donkere oppervlakten warmen sterk op en geven deze warmte ook af aan de omgeving. Hoe groter het oppervlak aan verharding hoe groter de nadelen. De verhardingen spelen een zeer beperkte rol in het afvangen van vuil uit de lucht. "Groen bevochtigt, verwarmt, verkoelt, zuivert, absorbeert en transpireert.

Eigenschappen die de stad goed kan gebruiken!"

Geciteerd van Kunst.O, 2013)

"De problemen die verhardingen opleveren, bestrijden we met technisch vernuft. We vullen muren met kunststoffen tegen warmteverlies, installeren airconditioners voor verkoeling van de binnenruimte, graven plastic kratten en betonnen bakken in voor waterberging en plaatsen schermen voor het afvangen van fijnstof. Uiteraard kunnen we eerst onnodig verhard en vervolgens technische hoogstandjes verzinnen om de gevolgen te verzachten, maar we kunnen ons vernuft toch voor betere en nuttigere doelen inzetten? We kunnen ons veel beter afvragen waarom grote oppervlakten verhard zijn en of dat niet anders kan?"

Geciteerd van Kunst.O, 2013"

De verhardingen zijn op te delen in drie typen.

(Kunst.O, 2013)Allereerst de nuttige verhardingen. Deze hebben een duidelijke functie, bijvoorbeeld voor vervoer. Ze zijn niet of moeilijk te missen.

De overdadige verhardingen zijn weliswaar nuttig, maar zijn groter of meer verhard dan nodig.

Als laatste zijn de overbodige verhardingen. Deze zijn onnodig.

Nuttige verhardingen

Snelweg, fietspad, terras in de tuin en winkelstraat.



Figuur 5.13 Snelweg A12, nuttige verharding

Overdadige verhardingen

Trottoir breder dan twee rolstoelen, meer dan 4.5 m brede rijbaan in een 30 km/h zone en volledig verharde parkeerplaats.



Figuur 5.14 Overdadige verharding, Arnhem Presikhaaf

Overbodige verharding

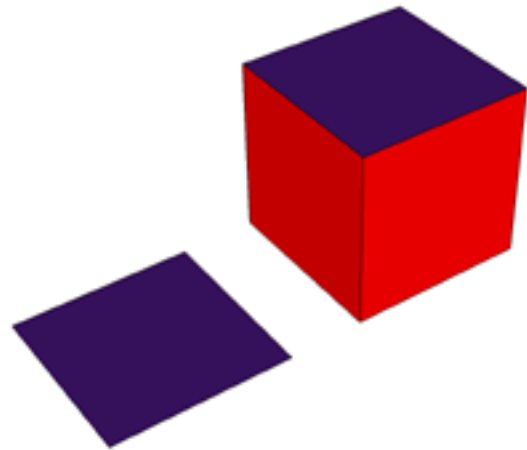
Grotendeels verharde tuin, niet-groene daken en tegelstroken rond lichtmasten en bomen.



Figuur 5.15 Overbodige verhardingen, Foto boven het totale oppervlakte is verhard, Beekpark Apeldoorn. Foto onder totaal verharde particulier tuin, toch mooi om te zien dat ze dan nog wel twee plantenbakken plaatsen. (woonwijk in Assen)

Als we kijken hoe het vroeger was (oerlandschap) en tegenwoordig, dan zien we dat het verharde oppervlak het stadsklimaat nadelig heeft beïnvloed. Ook van de oorspronkelijke afwatering is weinig meer over.

We moeten goed realiseren dat de oppervlakte verharding toeneemt, als we gebouwen, bruggen, wegen etc. maken / aanleggen. Door de opstaande wanden van gebouwen wordt het percentage verhard oppervlak sterk vergroot. Gevolg: warmteopname neemt toe en daarmee het urban heat island effect. Groen kan de gebouwen beschaduwden waardoor het urban heat island effect afneemt en daarmee het leefklimaat verbeterd. In figuur 5.16 is dit principe schematisch weergegeven.



Figuur 5.16 Het verharde oppervlak wordt sterk vergroot door de bouw van onder andere gebouwen, bruggen verharding etc. (blauw/ paars) grondvlak, rood extra oppervlak.

5.7 Groen

Het stadsgroen kan worden gezien als de longen van de stad. Groen heeft onder andere een verkoelende werking op het stadsklimaat. Het openbaargroen in de stad is vaak geconcentreerd in (grote) stadsparken. In de woonwijken is het openbaar groen vaak schaars en bestaat uit bomen, enkele heestervakken en gras. Soms worden bomenrijen / lanen toegepast. Het groen is dus niet gelijk verdeeld. Het nadeel hiervan is dat gunstige eigenschappen van groen, zoals verkoeling, bevochtiging en zuivering niet goed worden benut.



Figuur 5.17 Parken de groene longen van de stad. (park in Luxemburg stad)

Als we naar het buitengebied kijken dan zien we dat er veel groen aanwezig is. Het groen in het buitengebied / dorp bestaat uit gras- of akkerland, met af en toe een enkele houtwal en enkele (kleine) bossen. Langs de wegen staan vaak bomen. Deze gebieden bestaan voornamelijk uit groen. Het klimaat is daarom minder warm en dus beter voor de mens. Bovendien zuivert het groen de vervuilende stoffen uit de lucht.

Door de hoeveelheid / opbouw van het groen is er sprake van een groenstructuur. De gras- en akkerlanden worden verbonden door middel van houtwallen, bomenrijen en grasbermen naar de bossen.



Figuur 5.18 Groen in het buitengebied, de houtwallen, gras- en akkerlanden en bossen zorgen voor een groenstructuur. Rechtsboven het dorp Steenwijkerwold

Zo'n duidelijke groenstructuur is in de stad niet altijd aanwezig of kan sterk verbeterd worden. Dit heeft er ook mee te maken dat een buitengebied / dorp niet of nauwelijks veranderd en een stad snel veranderd door de bouw van nieuwe wijken en zoals eerder is beschreven, is iedere wijk met de kennis en inzichten van die tijd gebouwd waardoor de groenstructuur vaak niet op elkaar aansluit.

We kunnen concluderen dat in de stad relatief gezien minder groen aanwezig is dan in het buitengebied, het ontbreekt vaak aan een duidelijke groenstructuur, er meer mensen wonen en er meer uitstoot is van schadelijke stoffen.

In het buitengebied / dorp is er relatief meer groen dan in de stad, vaak een duidelijke groenstructuur, er wonen minder mensen en er is minder uitstoot van schadelijke stoffen. Het groene effect is in het buitengebied / dorp dus veel groter dan in de stad! Door het groen beter te verdelen en meer groen toe te passen kan het groene effect in de stad worden vergroot.

Maar waarom is er dan zo weinig groen in de stad?

Dit begint al bij de aanleg van een wijk. Een stuk landbouwgrond wordt getransformeerd in een woonwijk. Dit wordt (in sommige gevallen) gedaan door een projectontwikkelaar. De grondprijs is duur en er valt veel geld te verdienen met de bouw van huizen. Daarom is vaak het uitgangspunt om zoveel mogelijk huizen te plaatsen want dat levert veel geld op. Groen daarentegen, levert voor de projectontwikkelaar minder geld op.

Doordat in Nederland iedere afdeling zijn eigen verantwoordelijkheid heeft, ontstaat er een soort "hokjesgedrag". Bij dergelijke projecten wordt een team samengesteld waar ieder zijn eigen taak heeft. Bijvoorbeeld iemand over wonen, een ander over groen weer een ander over verhardingen enz. Iedere afdeling heeft zijn eigen belangen en heeft geen of minder belang bij de andere onderwerpen. Er ontbreekt een instantie die boven de afdelingen staat en het plan integraal beoordeelt.

Als er wel veel openbaar groen aanwezig is, dan is

de kans groot dat dit bij bezuinigingen wordt versoberd of in zijn geheel wordt wegbezuinigd. Hieruit kunnen we opmaken dat groen als kostenpost wordt gezien en dat de positieve eigenschappen van groen niet opwegen tegen de kostenbesparing die doorgevoerd moet worden. Dit bevestigt ook weer het "hokjesgedrag", het gebrek aan integraal denken en de kennis van de positieve eigenschappen van groen.

Daarom zou het gehele systeem moeten worden herzien en moet er meer acceptatie komen van elkaars vakgebieden en kennis.

Er zouden richtlijnen / regels gemaakt kunnen worden die hoeveelheden* aangeven, een overkoepelende organisatie die een dergelijk plan uitwerkt en de belangrijkste beslissingen neemt. De verschillende afdelingen krijgen dan de rol om alleen de gevraagde informatie aan te leveren.

**zoals maximale percentages bebouwing en minimale percentages groen en water*

Groen door de jaren heen

Rond 1850 was er weinig groen in de steden. De steden waren toen nog klein, ongeveer ter grootte van de huidige binnenstad. De agrarische economie was heersend. Na 1870 kwam het industrialisatieproces op gang wat op den duur de economische structuur zou worden. Door de opkomst van deze industrie trokken veel landarbeiders naar de stad. Er werden veel arbeidershuizen bijgebouwd. De omstandigheden waren vaak slecht. De voormalige stadswallen werden omgetoverd tot "gezonde" groene wandelgebieden. Er kwam een toenemende behoefte aan groensingels en parken.



Figuur 5.19 Stadswallen werden omgetoverd tot groene gebieden. (stadswallen te Steenwijk)

In 1900 -1930 was er de tuinstadgedachte. De gedachte was om dorpsachtige woonomgevingen te bouwen. De zogenaamde tuindorpen. Er was veel groen aanwezig in de vorm van gras, bomen(lanen), parken en plantvakken. Omdat de stadsuitbereidingen een steeds planmatiger karakter kregen, werd het stedelijk groen steeds pragmatischer, grootschaliger en planmatiger aangepakt. Er ontstonden normen hoeveel groen iedere bewoner minimaal moest krijgen. Het stedelijk groen werd dus steeds meer



Figuur 5.20 Tuindorpen (www.havensteder.nl)

in cijfers uitgedrukt, vaak in vierkante meters per inwoner. Het groen had als functie sierwaarde en diende als recreatie voor de bewoners. Door de opkomst van het functionalisme werden de vele sierperken minder populair. Ze kostten veel in onderhoud en werden door de crisis versoberd of verwijderd. (Merriënboer, J., 2011)

Na de oorlog (1940-1945) vond de wederopbouw plaats. Doordat veel steden geheel verwoest waren konden er allerlei ingrijpende veranderingen plaatsvinden, zoals verbreding van straten en wegen en het verleggen van tracés etc. Door een groot tekort aan woonruimte werd er veel systeembouw toegepast omdat dit een snelle bouwvorm is. De bevolking kreeg de kans om in ruim opgezette woonwijken met veel groen te gaan wonen. Het groenoppervlak nam verder toe door de aanleg van grote grasvelden, beplantingsvakken, rozenvakken, bomen etc. (Merriënboer, J., 2011)

In de jaren 60 ontstond er de CIAM (Congrès International d'Architecture Moderne) bouw of wel de stempelbouw. Dit is hoogbouw met grote groene "parken." Al het groen moest beheerd en onderhouden worden in hoeveelheden die men nooit was gewend. Daarom gingen de groendiensten steeds logischer en systematischer werken. In de zestiger jaren ontstonden er grootschalige milieuproblemen en luchtvervuiling. Door het grootschalige karakter van de wijken kwam het tot een oproep om meer groen aan te leggen ten behoeve van het zuiverende effect op luchtvervuiling (uitstoot van verkeer op hoofdwegen, door woonwijken, nabijgelegen industriegebieden) Dit werd onvoldoende gedaan. Op dit moment is de problematiek van de grote uitstoot van CO₂, fijnstof en NO_x al jaren gaande maar het krijgt nu eigenlijk pas de aandacht die het verdient! (Merriënboer, J., 2011)

In die tijd werd "actief groen" (gebruiks-, speel- en recreatief groen) steeds belangrijker doordat de bevolking sterk groeide. Daarom werd er meer voor hoogbouw gekozen, om zo alle mensen te kunnen huisvesten. (CIAM bouw) Er werd gekozen voor gemeenschappelijk groen. Dus de particuliere tuintjes verdwenen en maakten plaats voor één



Figuur 5.21 Woonwijken in de wederopbouwfase, veel groen achter de woningen en ruim opgezet, Rembrandtstraat, Steenwijk West

grote gemeenschappelijke "tuin". Hierdoor ontstonden grote groene ruimten. Bovendien geeft dit meer eenheid en een verzorgder uiterlijk dan dat ieder huis zijn eigen tuintje inricht. Het groen bestond uit gras, heestervakken en bomen. (Merriënboer, J., 2011) Een voorbeeld is de Bijlmermeer.



Figuur 5.22 De Bijlmermeer (bron: architectuuramsterdam.nl)

Als reactie op deze grootschalige stedenbouw zijn er in 1970 - 1980 bloemkoolwijken of "spagettiwijken" ontstaan. Deze wijken kenmerken zich door de vele kronkelende paden en hofjes. Het zijn woonmilieus opgebouwd uit buurten, wijken en stadsdelen met woonerven waarbij de wegen sterk hiërarchisch zijn geordend.



Figuur 5.23 Bloemkoolwijk, de Rikking, Steenwijk

Vaak bestaan deze uit een rondweg met daaraan vele kleine doodlopende wegen. Het oppervlakte groen bleef toenemen maar het werd meer verspreid / versnipperd over vele kleine perken in de wijken. Eind jaren 70 moest er flink worden bezuinigd op het openbaar groen. In die tijd werden dan ook veel onderhoudsintensieve beplantingen (zoals rozenperken) vervangen door gras. Er werden veel verhoogde plantenbakken toegepast. Op de grotere



Figuur 5.24 Woonerven een onderdeel van de bloemkoolwijken Timorstraat Meppel

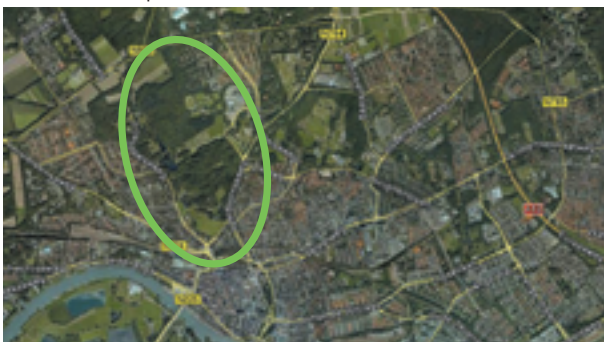
oppervlakten werd bosplantsoen toegepast zodat het groene karakter werd vergroot en de jeugd in het groen kon spelen. Bosplantsoen is in die tijd geïntroduceerd in de buitenruimte en werd veelal aangeplant volgens het wijker-blijver systeem. Snelgroeiende pioniers zorgden in de beginfase voor beschutting waarna ze later (zo was het idee) werden gekapt om de blijvers, die inmiddels al groter waren gegroeid, voldoende licht te geven. Door te laat ingrijpen en bewonersprotesten zijn veel wijkers gebleven. Ook was er in die tijd een opkomst van bewonersinspraak, bewonersparticipatie en een opkomst van natuur en ecologie. (Merriënboer, J, 2011)

De woonwijken rond 2000 (VINEX) zijn een tussenmaat tussen het grootschalige en de kleine perken. Ze bestaan dan ook uit bomen(rijen) grasstroken, borders, bosplantsoen etc. De wijken zijn over het algemeen ruim opgezet.



Figuur 5.25 Vinex wijk, straat Korenbloem, Meppel

Verder kennen sommige steden "groene vingers of wiggen". Een voorbeeld is park Sonsbeek in Arnhem. Dit park staat "in contact" met de Veluwe.



Figuur 5.26 Park Sonsbeek als "groene vinger" in de stad Arnhem (bron: google earth)

Het groen komt dus de stad in. Met dit groen komen ook planten en dieren "de stad in". Doordat het stadsklimaat warmer is dan de omgeving ontstaan er nieuwe habitatten (leefomgevingen). Deze groene wiggen verbeteren het stadsklimaat en de luchtkwaliteit aanzienlijk. (Meyer, H et al)

We zien dat groen door de jaren heen verschillende betekenissen heeft. Groen voor ontspanning, recreatie, natuur, ecologische structuren of omdat het mooi is, dus een mooie bladkleur, mooie stam etc. Opvallend is dat groen niet of nauwelijks wordt ingezet vanwege de luchtzuiverende eigenschappen, al was de gedachte er in de jaren 1960 wel. Het is nooit grootschalig uitgevoerd.

5.8 Leefwijze

De leefwijze in het buitengebied en de stad is zeer verschillend. In de stad zijn veel voorzieningen zoals supermarkten, winkels, bouwmarkten, bedrijven, ziekenhuizen, industrie, uitgaansgelegenheden etc. Veel voorzieningen zijn op loopafstand en dus makkelijk te bereiken. Verder beschikt de stad over een intensief openbaar vervoer. Er zijn veel bus-, tram-, metro- en treinstations. Dit maakt de bereikbaarheid van de stad goed. De woningen hebben vaak meerdere verdiepingen en niet altijd een eigen tuin. (met name de hoogbouw, flats) De overige bebouwing beschikt veelal over een kleine tuin. Al deze feiten zorgen er voor dat de mensen vaak en korte stukjes reizen en voor recreatie / ontspanning vaak naar een park of buitengebied gaan.



Figuur 5.27 Stadspark Ram's Woerthe, Steenwijk

In het buitengebied zijn weinig voorzieningen. Er zijn kleine bedrijven gevestigd zoals een buurtsupermarkt, ijzerhandel, fietsenmaker, café etc. De voorzieningen zijn vaak niet op loopafstand. Dorpen zijn over het algemeen slecht te bereiken met het openbaar vervoer. Rondom de woningen is vaak een perceel eigen grond. Dit mag de bewoner naar eigen wens invullen. Al deze feiten zorgen ervoor dat veel mensen een auto hebben en omdat er weinig voorzieningen aanwezig zijn, gaan ze vaak één keer in de week naar de stad waar ze alle benodigde producten halen. (zoals eten) Doordat ze een eigen stukje grond bezitten zijn ze veel in de buitenlucht en recreëren / ontspannen ze ook veelal bij huis.



Zoals het kinderliedje beschrijft kun je een boom kappen maar je kunt er ook iets moois uithakken. *Fagus sylvatica* in de buurt van Frederiksoord

Bij ons in het dorp staat een prachtige boom
 Ze zeggen al honderden jaren
 Misschien is het raar
 Maar die boom is m'n vriend
 Hij mag m'n geheimen bewaren
 Hij staat heel alleen op het plein bij de kerk
 Ik kan hem verstaan als ie fluistert
 De anderen hebben nog nooit iets gehoord
 Maar ik denk dat niemand goed luistert
 Ik ken hem nou al zoveel jaar
 We zwaaien altijd naar elkaar
 Als ik naar bed ga kijk ik even
 Dag lieve boom, lang zal je leven
 De mooiste boom van alle bomen
 Mijn boom

Het dorp wordt maar groter
 En soms is het vol
 Met mensen die komen kamperen
 De straat wordt wat breder, eenrichtingsverkeer
 Zodat ze ook kunnen parkeren
 M'n boom ziet het aan op z'n plek bij de kerk
 Het lijkt of ie zacht staat te praten
 Hij zucht en het klinkt als een angstig geluid
 Hij heeft het al lang in de gaten
 Hij kent ons nou al zoveel jaar
 Hij weet het al, er dreigt gevaar
 Ik zou hem graag bescherming geven
 Dag lieve boom, lang zal je leven
 De mooiste boom van alle bomen
 Mijn boom

Bij ons in het dorp stond een boom in de weg
 Die boom bij de kerk moest verdwijnen
 Ze kwamen met zagen, met bijlen en touw
 Ik riep nog: blijf af, 't is de mijne
 Maar niemand die 't hoorde, er kwam zo'n
 lawaai
 Van al die gemene motoren
 Hij kraakte, hij schreeuwde, ik hoorde zijn stem
 Die klonk nog lang na in mijn oren
 Om bomen heb je geen verdriet
 Om bomen huilen doe je niet
 Toch voel ik telkens tranen komen
 Ik zal nog vaak eng van hem dromen
 De mooiste boom van alle bomen
 Dag boom

--Kinderliedje--

6 Constructieve bijdrage van “groen” voor de luchtkwaliteit?

Een bebouwde omgeving zonder groen, daar moet je niet aan denken! Alles zou grijs / verhard zijn en het zou er kil en troosteloos ogen. Een bebouwde omgeving met groen oogt veel vriendelijker en levendiger, maar wat kan het groen betekenen voor de luchtkwaliteit?

Allereerst wat is luchtkwaliteit? en wat wordt er onder verstaan? Luchtkwaliteit is de mate van luchtvervuiling, waarbij de luchtkwaliteit als hoog wordt beschouwd terwijl de vervuiling laag is. Eigenschappen als verkoeling en bevochtiging vallen dus buiten de noemer luchtkwaliteit. Deze eigenschappen zijn wel belangrijk en daarom worden ze wel beschreven omdat deze bijdragen aan een beter stadsklimaat.

6.1 Welke eigenschappen heeft groen?

Groen is een “containerbegrip”. Met groen wordt in deze context alle typen groen bedoeld dus bomen, struiken, vaste planten, sedum, gras etc. Groen heeft diverse eigenschappen en functies. De belangrijkste eigenschappen van groen worden hieronder beschreven.

Verkoeling

Groen zorgt voor verkoeling en dan met name in de zomermaanden. Door het bladerdek wordt het zonlicht tegengehouden, waardoor er onder het groen (vaak bomen) schaduw ontstaat en dus verkoeling. Verder neemt groen ook warmte op waardoor het koeler wordt. Immers een grasveld voelt koeler aan dan verharding. Groen heeft dus een verkoelende werking. De verkoelende werking is er alleen als groen goed wordt toegepast. Bij een foutieve toepassing kan stilstaande lucht ontstaan waardoor de verkoelende werking verloren gaat. Grote steden hebben te maken met het urban heat island. Door de stad groener te maken kan dit probleem worden verkleind waardoor het leefklimaat verbeterd.



Figuur 6.1 Verkoeling door groen, de boom beschaduwde de muur waardoor de warmte uitstoot van het gebouw en daarmee het urban heat island kan worden verminderd

Bevochtiging

Groen bestaat onder andere uit water. Zonder water kan het niet leven. Groen stoot water uit door middel van het fotosyntheseproces. (zie § 2.1 kopje koolstofdioxide voor uitleg over dit proces) Het water (met allerlei mineralen) wordt door de wortels opgenomen en getransporteerd via de houtvaten naar de bladgroenkorrels. De mineralen (zouten) en een deel van het water wordt verbruikt. Het overige deel verdampst via de huidmondjes. Doordat de boom water uitstoot ontstaat er een vochtiger klimaat. Dit klimaat is voor mens en dier prettig. Doordat in de zomermaanden het groen (met name bomen) meer water verbruikt dan dat er in de grond aanwezig is, kan er watertekort ontstaan, waardoor dit proces niet optimaal verloopt. Dit is te zien aan het groen (slappe bladeren, geel/droog gras etc.) Groen heeft door de bevochtigende werking een positief effect op het klimaat.

Luchtkwaliteit

Groen zuivert / verbetert de lucht. Dit gebeurt onder andere door de fotosynthese. Verder neemt groen vervuilde stoffen op door middel van de huidmondjes, waslaag en door afzetting op de plantdelen. In paragraaf 6.2 staat een uitgebreidere beschrijving van hoe groen vervuilde stoffen opneemt en zuivert.

Geleiding

Groen heeft ook een geleidende functie. Door het plaatsen van een haag, bomenrij, plantvak etc. worden de gebruikers, al dan niet onbewust, geleid. Door langs een weg groen te planten lijkt de weg optisch kleiner en zullen de gebruikers minder hard rijden. Dit principe kan ook worden toegepast in bochten. Door hier beplanting aan te brengen ontstaat er een betere geleiding. Bovendien kan de gebruiker al van een afstand zien dat er een bocht aankomt. Dit zelfde principe kan ook op kleinere



Figuur 6.2 Geleidende functie

schaal worden toegepast door bijvoorbeeld op hoekpunten een haag te planten. Door deze geleidende functie is groen in staat de lucht en daarmee de vervuiling enigszins te geleiden en draagt daarom bij aan een beter leefklimaat in de bebouwde omgeving.

Recreatie en gezondheid

Groen heeft ook een belangrijke recreatieve functie. Denk hierbij aan recreatieplassen, parken, tuinen etc. Het groen zorgt dus voor ontspanning. Daardoor heeft dit groen een grote waarde en is het belangrijk voor het welbevinden / gezondheid van de gebruikers.

Maar groen draagt indirect ook bij aan snellere genezing. Patienten die vanuit het ziekenhuis uitkijken op groen genezen gemiddeld 10% sneller. (Bade, T, et al en de Roo, M et al 2011) "Verder verlaagt groen depressies en stress, vergroot een groen uitzicht de productiviteit van werknemers en melden werknemers zich minder vaak ziek. (Bade, T, et al)

Gebruiksgroen

Een voorbeeld hiervan is stadslandbouw of urban farming. Bewoners zonder tuin kunnen op deze plaatsen hun eigen groenten verbouwen. Een voordeel hiervan is dat ze meer kennis en begrip krijgen hoe en op welke wijze groenten worden gekweekt. Doordat er vele tuintjes bij elkaar liggen wordt het een sociale aangelegenheid. Bovendien kunnen ze van elkaar leren. Een ander voordeel is dat het gekweekte gewas minder voedsel kilometers maakt naar de eindgebruiker, waardoor de uitstoot van vervoerders niet / minder nodig is.



Figuur 6.3 Urban farming

Waarde onroerend goed

De waarde van onroerend goed is vaak hoger in de nabijheid van (goed) onderhouden groen. Daaruit kunnen we concluderen dat groen waarde toevoegt aan onroerend goed.

Biodiversiteit

Als er veel soorten planten aanwezig zijn dan trekt dit ook veel verschillende dieren en insecten aan.

Dit zorgt ervoor dat eventuele schadelijke organismen (zoals een spinnenplaag) niet of nauwelijks voorkomt omdat de plaag wordt voorkomen door de overige dieren. De vogels eten namelijk de spinnen op nog voordat dit een plaag kan worden. Een goede gebalanceerde biodiversiteit is dus belangrijk voor de mens en zijn omgeving.

Visueel en sociaal

Groene straten, wijken en steden zorgen voor een aantrekkelijke leefomgeving. Wijken waar voldoende groen is aangeplant kennen een hogere sociale cohesie. Door de parken en bankjes nodigt het mensen uit om met elkaar in gesprek te gaan. Dit houdt in dat de bewoners elkaar kennen, waardoor de sociale controle stijgt en de criminaliteitscijfers dalen. Groen heeft daarmee ook een sociale functie. (Bade, T, et al, de Roo, M et al 2011)

Emotionele waarde

Groen kan een grote emotionele waarde vertegenwoordigen. Er zijn vaak hele discussies als (oude) bomen worden gekapt of ander groen wordt verwijderd. Hieruit kunnen we opmaken dat groen een grote emotionele waarde vertegenwoordigt. Bij figuur 6.4 is op een gekapte boom een wel heel toepasselijk bordje geplaatst.



Figuur 6.4 Emotionele waarde van groen

Bescherming

Bomen, hagen en heesters geven bescherming en beschutting bij harde wind. Rondom akkers werden vaak houtwallen gemaakt ter afscherming van het vee maar ook om de wind tegen te houden. Tegenwoordig zijn door schaalvergroting en onderhoud veel van deze houtwallen verwijderd. Het gevolg, minder diversiteit en de wind wordt minder geblokkeerd. Een voordeel is wel dat het gras beter groeit omdat de schaduwwerking van de houtwallen is verdwenen. Ook wordt groen vaak gebruikt als afscherming van verkeer en industrie. Groen heeft daarmee ook een windkerende functie

Water

Beplanting is in staat om water enige tijd langer vast te houden. Daarmee draagt het bij aan het vertraagd afvoeren van regenwater waardoor de grote pieken worden verminderd. Verder neemt de

beplanting (grote) hoeveelheden water op. Dit water heeft de plant nodig voor de fotosynthese om te overleven. Dit laatste kan met name in de zomermaanden een probleem zijn. Bomen, gras en ander groen verbruiken in sommige gevallen in de zomermaanden meer water dan dat er in de grond aanwezig is, waardoor verdroging kan ontstaan. Dit is met name een probleem met groen op kunstmatige plaatsen zoals in verharding, te kleine plantplaatsen etc.

Water heeft als eigenschap dat de temperatuur redelijk constant is / blijft. (Indymedia, 2013) Door deze eigenschap heeft het een verkoelende werking op de omgeving. Bovendien trekt water dieren, insecten en planten aan die het leefklimaat kunnen verbeteren. Water in stedelijk gebied is er in de vorm van watergangen, sloten, vijvers etc. Door de vele functies die water vervult draagt water bij aan vermindering van het urban heat island en daarmee aan een beter leefklimaat.



Figuur 6.5 Water wordt vertraagd afgevoerd door groen

Beplanting is dus van groot belang voor de kwaliteit en de leefbaarheid van de openbare ruimte en de gezondheid en welzijn van de bevolking! Ook draagt het indirect bij aan een betere leefomgeving doordat het vogels, insecten vleermuizen etc. aantrekt. Deze zijn nuttig omdat zij onder andere "schadelijke" dieren opeten. Conclusie beplanting heeft meer eigenschappen en kwaliteiten dan alleen de lucht zuiveren.

6.2 Welke stoffen zuivert / neutraliseert groen?

De onderzoeken naar de zuiverende werking van groen zijn beperkt. Er is inmiddels (beperkt) wetenschappelijk onderzoek gedaan naar de filterende werking maar de resultaten zijn zeer wisselend. Er bestaat over het algemeen geen discussie over het nut van beplanting voor het verminderen van schadelijke stoffen in de lucht. (Hoffman, M, 2009) Beplanting kan de concentraties vervuilende stoffen op regionale schaal verlagen maar kan lokale knelpunten niet oplossen of zelfs verergeren! (Cornelissen, T, et al 2012) Kortom het groen zuivert de lucht, mits goed aangelegd maar het percentage vervuilde stoffen dat groen zuivert is

zeer laag. (enkele procenten voor b.v. fijnstof) (Cornelissen, T, et al. 2012)

We kunnen zeggen dat groen de volgende stoffen zuivert / vastlegt / afvangt/ vermindert:

- Koolstofdioxide (CO₂)
 - Zwaveldioxide (SO₂)
 - Stikstofdioxide (NO_x)
 - Stikstofdioxide (NO₂)
 - Ozon (O₃)
 - Ammoniak (NH₃)
 - Fijnstof (o.a. PM₁₀, 5, 2.5 en 1μm)
- (Cornelissen, T, et al. 2012) (Hoffman, M, 2009) (Oosterbaan, A et al. 2006)

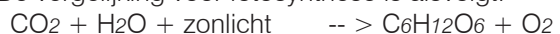
In de subparagrafen wordt beschreven op welke manieren beplanting de vervuilende stoffen zuivert, vastlegt en afvangt. Hoe beplanting fijnstof afvangt wordt in een aparte subparagraaf beschreven. Fijnstof wordt afzonderlijk behandeld omdat dit geen gasvormige verontreiniging is en daarmee anders dan de overige vervuilende stoffen.

6.2.1 Hoe verwijdert vegetatie luchtverontreinigende stoffen?

Huidmondjes

De huidmondjes bevinden zich in de bladeren. Het zijn kleine openingen waar de uitwisseling van gasvormige stoffen uit de omgeving en van de plant plaatsvinden. Zwaveldioxide (SO₂), Stikstofdioxide (NO_x), Koolstofdioxide (CO₂) en Ozon (O₃) kunnen op deze manier worden opgenomen en vastgelegd. De opname gebeurt alleen tijdens het groeiseizoen (buiten het groeiseizoen is er geen blad en dus geen opname) en als de huidmondjes openstaan. Verder is de opname overdag groter dan 's nachts, omdat de huidmondjes vooral overdag openstaan om de benodigde Koolstofdioxide (CO₂) voor de fotosynthese aan te voeren. (Hoffman, M, 2009)

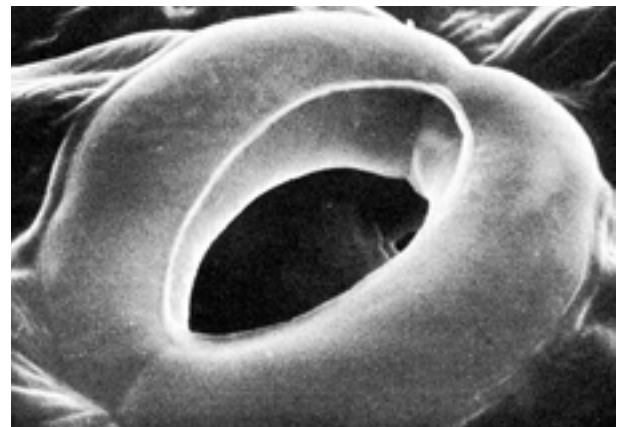
De vergelijking voor fotosynthese is als volgt.



(koolstofdioxide + water + zonlicht --> druivensuiker + zuurstof)

Bij dit proces wordt er onder andere koolstofdioxide verbruikt en komt er onder andere zuurstof vrij.

Zoals bekend, is een ketting zo sterk als de zwakste



Figuur 6.6 Huidmondje (bron: www.aquabotanica.eu)

schakel. Het blijkt dat CO₂ vaak de beperkende schakel is in de snelheid van het fotosyntheseproces (Driel van. T, et al, 2001) Doordat CO₂ veel wordt uitgestoten kan het groen dus veel CO₂ omzetten in onder andere groei en zuurstof. Doordat de groei toeneemt, neemt ook het bladoppervlak toe, waardoor de afvang van andere schadelijke stoffen wordt vergroot. Een goede bodem / grond met voldoende mineralen, water etc. is een vereiste! De bodem blijkt in vele gevallen de zwakste schakel in het proces te zijn. (Driel van. T, et al, 2001)

Waslaag

De waslaag van planten is in staat om onder andere vervuilende stoffen weg te vangen door de stoffen op te nemen in de waslaag (cuticula) van de bladeren. Vooral organische stoffen zoals VOS en PCB's kunnen worden opgenomen door de waslaag. (Hoffman. M, 2009) "De opname via de cuticula heeft als voordeel dat deze gewoon doorgaat gedurende de nacht, ook wanneer de huidmondjes gesloten zijn. Bij wintergroene planten gaat de opname zelfs in de wintermaanden gewoon door. De waslaag bestaat uit paraffineachtige draden en heeft als functie het beschermen van het blad tegen uitdroging en verontreinigende stoffen." Geciteerd uit hoffman. M, 2009) p. 28)

Afzetting op plantdelen.



Figuur 6.7 Waslaag

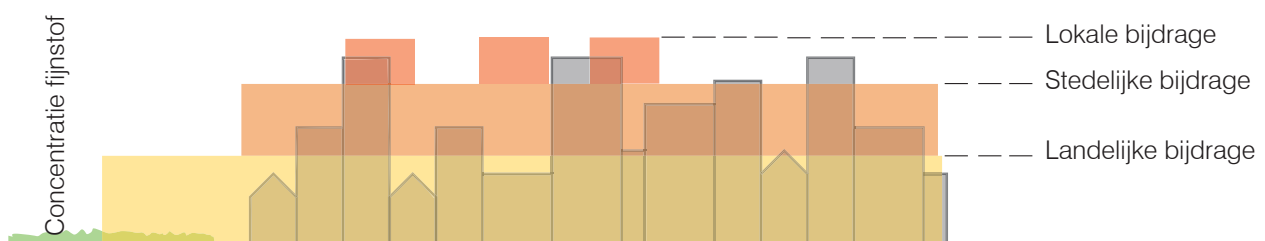
Kleinere stofdeeltjes kunnen zich afzetten op bladeren en stengels/takken. "Deze fijnstofdeeltjes (o.a. PM₁₀) kunnen op de vegetatie neerslaan via zwaartekracht of door de wind. Elektrische lading van het blad en/of een ruw kleverig bladoppervlak bevordert het wegvangen van fijnstof door de vegetatie. De neergeslagen fijnstofdeeltjes worden door regenwater weggespoeld of vallen samen met het blad in de herfst af. Op de grond worden de fijnstofdeeltjes afgevoerd naar het rioleringsysteem of oppervlaktewater of ze worden in de bodem vastgelegd." (Geciteerd uit hoffman. M, 2009 p. 28)

6.2.2 Hoe wordt fijnstof verwijderd door de beplanting?

Concentratie fijnstof

De totale hoeveelheid fijnstof neemt toe naarmate er sprake is van meer verkeer. De totale hoeveelheid fijnstof is dus zeer afhankelijk van de locatie. We kunnen de fijnstof opbouw als volgt typeren. Een groot deel van het fijnstof komt aangewaaid vanuit het buitenland en ligt als een "deken" over Nederland. Dit zorgt ervoor dat er in heel Nederland een percentage fijnstof aanwezig is. Dit wordt de landelijke concentratie genoemd. Het verkeer in en om de stad voegt een extra percentage fijnstof toe aan de landelijke concentratie. Dit wordt de stedelijke bijdrage genoemd. Als we nog verder inzoomen wordt er extra fijnstof uitgestoten door intensief verkeer in bijvoorbeeld nauwe straten of op drukke wegen en pleinen. Dit wordt de lokale uitstoot genoemd. Deze locaties, of 'hotspots' kenmerken zich door hoge concentraties fijnstof waardoor de normen op die plaatsen dan ook vaak worden overschreven. (Hiemstra. J, A. et al. 2008)

De concentratie op deze hotspots kan op drie manieren worden verlaagd. Op landelijk,- stads- en straatniveau. Groen kan op alle niveaus effectief bijdragen aan een vermindering van het fijnstof niveau.

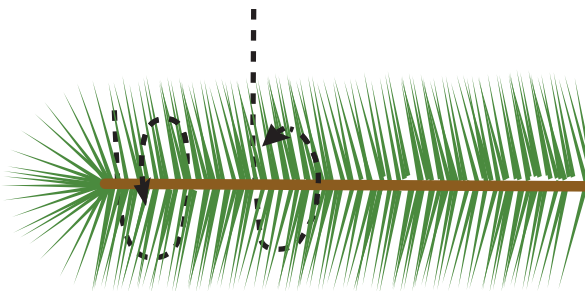


Figuur 6.8 Schematische weergave van de samenstelling van de fijnstofconcentratie naar herkomst voor de verschillende schaalniveaus Opbouw fijnstofconcentratie gebaseerd op het rapport van Hiemstra. J, A. et al. 2008 en Tonneijck. F, et al, 2008

Fijnstof kan op drie manieren worden afgevangen. Door impactie, diffusie en sedimentatie. Impactie is het afvangen van stofdeeltjes uit bewegende lucht. Diffusie is dat de stofdeeltjes via de huidmondjes in de plant komen. De derde manier, sedimentatie is niet afhankelijk van beplanting. Dit gebeurt bij windstil weer waardoor de vervuilde stoffen door het eigen gewicht naar beneden zakken en daarmee uit de lucht worden verwijderd. Door sedimentatie kan het fijnstof wel neerslaan op de beplanting waardoor de beplanting indirect een bijdrage kan leveren aan sedimentatie. (Cornelissen. T, et al, 2012)

Impactie

Fijnstofdeeltjes worden door de wind meegevoerd, botsen tegen takken, naalden of bladeren en blijven daar liggen of plakken en worden op die manier "afgevangen". "Dit gebeurt vooral met de grotere deeltjes. Als de wind om een blad, naald of tak heen waait, kunnen de grote, zware deeltjes de luchtstroom moeilijker volgen dan de kleinere en lichte stofdeeltjes. Daardoor botsen de grotere deeltjes tegen de obstakels (bladeren, naalden, takken, stam etc.) Naarmate het harder waait komen ook de kleinere deeltjes in botsing waardoor de afvang wordt vergroot.



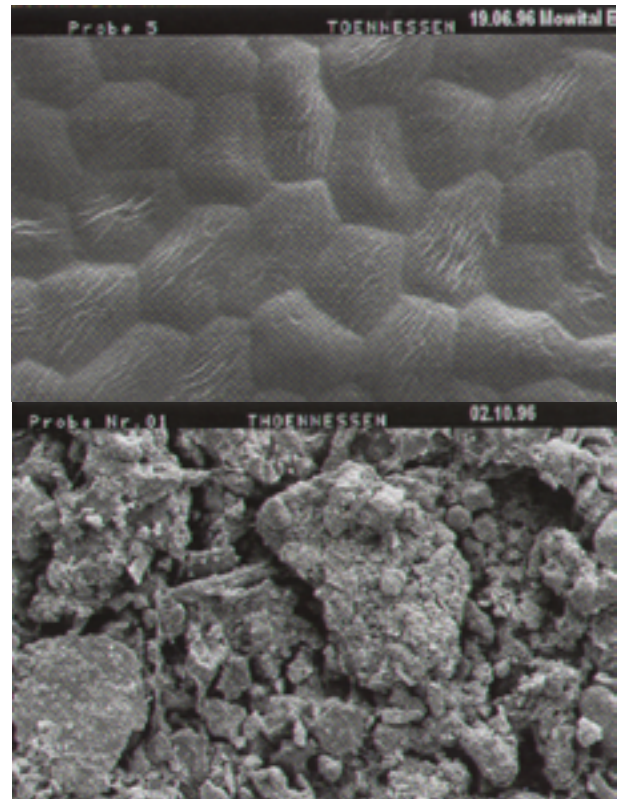
Figuur 6.9 Impactie / afvang van fijnstof door naalden

De vorm van het botsingsoppervlak heeft invloed op de luchtwervelingen en daarmee op het botsen van de fijnstofdeeltjes. Veel oppervlak in verhouding tot het volume, zoals bij naaldevormige structuren of kleine lancetvormige bladeren, is gunstig voor het impactieproces. Naaldbomen filteren daardoor beter fijnstof dan loofbomen. Ook beharing op bladeren veroorzaakt extra wervelingen en vergroot daardoor de kans dat deeltjes botsen. Kortom hoe meer werveling hoe meer fijnstof er afgevangen kan worden." (Geciteerd uit Cornelissen. T, et al, 2012, p21-22)

"Het afvangen van fijnstof is een proces dat afhangt van de aanwezigheid van 'obstakels' zoals naalden, bladeren of takken maar ook van de vorm en ruwheid. Bomen die het jaarrond groen zijn, vangen daardoor meer fijnstof af dan bomen die in de winter hun blad verliezen.

Het afvangen fijnstof spoelt met een regenbui van de bladeren en wordt permanent uit de lucht verwijderd door de vastlegging in de grond. Het aanleggen van verharding onder bomen voorkomt

vastlegging in de grond. Daarom is het belangrijk dat bomen in een voldoende grote plantstrook staan zodat het fijnstof vast kan worden gelegd in de grond. Staat de boom in de verharding dan kan na verdamping van het water het fijnstof weer opwaaien waardoor de verwijdering van het fijnstof van tijdelijke aard is geweest." (Geciteerd uit Cornelissen. T, et al, 2012, p22-23)



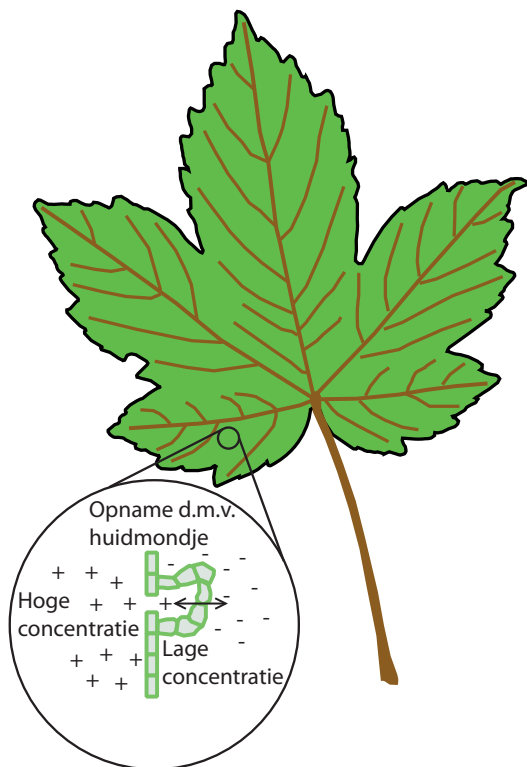
Figuur 6.10 Fijnstof op een blad. Boven, blad in juni onder blad in oktober (www.fijnstoflabel.nl)

Het fijnstof PM₁₀ μm wordt redelijk afgevangen door de beplanting maar de veel schadelijkere deeltjes PM₅ en 2,5 μm worden het minste afgevangen. Deze deeltjes zijn zo licht dat ze bij matige turbulentie niet tegen de beplanting aan komen. De grotere en zwaardere deeltjes worden wel afgezet omdat zij door het gewicht naar buiten "vliegen" en daardoor worden afgezet aan de beplanting. In sommige situaties kunnen de concentraties zelfs toenemen doordat de windsnelheid vermindert waardoor er wordt voorkomen dat de vervuilde lucht verdund kan worden met schone lucht uit de omgeving.

Diffusie

Extreem kleine stofdeeltjes (kleiner dan 0.1 μm , ook wel 'ultra fijnstof' genoemd) gedragen zich min of meer als een gas. Een gas streeft naar gelijke concentraties. De ultrakleine stofdeeltjes streven daarom naar gelijke concentraties in en buiten het blad. Dit betekent dat de ultrakleine stofdeeltjes via de huidmondjes de luchtruimtes in het blad zullen binnendringen (diffunderen). Dit gebeurt uiteraard alleen als er in het blad minder deeltjes zitten dan in de lucht eromheen. (de streef naar gelijke

hoeveelheden) Er zijn geen onderzoeksresultaten beschikbaar over de diffusie van ultrakleine deeltjes in het blad. (Cornelissen, T, et al, 2012)

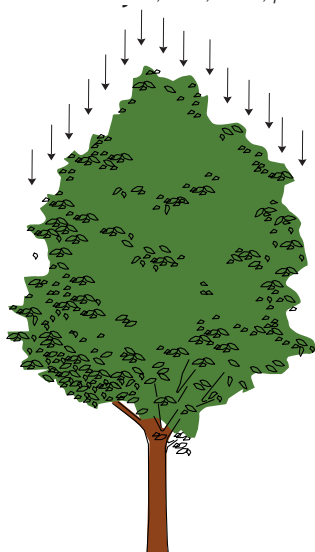


Figuur 6.11 Diffusie door huidmondjes

Sedimentatie

“Stofdeeltjes vallen naar de aarde toe onder invloed van de zwaartekracht. Ook fijnstofdeeltjes vallen langzaam maar zeker op de aarde. De snelheid waarmee dat gebeurt, is afhankelijk van de massa en in mindere mate van de luchtweerstand van de deeltjes. Grote en daardoor zware fijnstofdeeltjes (PM10) vallen sneller dan kleinere en lichtere deeltjes. De mate waarin sedimentatie een bijdrage levert aan een schonere lucht, hangt vooral af van de windsnelheid en nauwelijks van de eigenschappen van de beplanting.”

(Geciteerd uit Cornelissen, T, et al, 2012, p23)



Figuur 6.12 Sedimentatie met behulp van beplanting

Het berekende aantal deeltjes per m3 lucht bij een concentratie van 20 (ug/m3) voor de verschillende deeltjesgroottes (aanname: dichtheid van de deeltjes = 1 kg L -1)		
Deeltjesgrootte µm	Aantal deeltjes (m3)	Massa per deeltje (µg)
10	38197	5,2x10 -4
5	305577	6,5x10 -5
2,5	2444620	8,2x10 -6
1	38197186	5,2x10 -7

bron: Beplanting en luchtkwaliteit CROW

Figuur 6.13 Het verband tussen de grootte en het aantal deeltjes

6.3 Geschikte beplanting

Alle beplanting vangt wel fijnstof, stikstofoxiden en koolstofdioxide af. (Hiemstra, J. A., et al 2008) Afhankelijk van de soort vangen ze ook nog ozon, zwaveldioxide en ammoniak af. De vastlegging van koolstofdioxide (CO₂) is wel zeer verschillend. “Zo komt bij kruidachtige gewassen de vastgelegde hoeveelheid koolstofdioxide (CO₂) aan het eind van het jaar weer vrij als de plant afsterft en vergaat. (Hoffman, M, 2009) Dit geldt ook voor het blad van loofverliezende bomen en struiken. De koolstofdioxide (CO₂) die is vastgelegd in de overblijvende houtige delen van de planten, blijft vastgelegd.” (Geciteerd uit Hoffman, M, 2009 p 29) Deze delen vergaan immers niet. Als deze delen verrotten of worden verbrand dan komt de koolstofdioxide (CO₂) weer vrij.

Het soort vegetatie is zeer afhankelijk voor de hoeveelheid en soort afvang van fijnstof en andere vervuilende stoffen. Het mag duidelijk zijn dat gras een andere invang / afvang eigenschappen heeft dan bomen / struiken. Uit onderzoek is gebleken dat bomen door hun grote afmetingen het meest effectief zijn in het wegvangen van luchtverontreinigende stoffen zoals fijnstof en stikstofoxiden (NO_x). (Hoffman, M, 2009)

6.3.1 Soortkeuze

Allereerst alle bomen, struiken, bossen, windsingels, houtwallen en hagen kunnen door hun filterende werking vervuilende stoffen opnemen. (Hiemstra, J. A., et al 2008)

Er is echter een groot verschil in welke stoffen ieder soort effectief afvangt. Zo nemen loofbomen met



Figuur 6.14 Naaldbomen zijn effectieve fijnstofafvangsters



Figuur 6.15 Loofbomen zijn effectieve NO₂ afvangers

breed en glad blad beter gassen op zoals ozon (O₃) en stikstofdioxide (NO₂) en naaldbomen zijn meer geschikt in het afvangen van (fijn)stofdeeltjes. Ook is er een groot verschil tussen groenblijvende en bladverliezende beplanting. Groenblijvende beplanting filtert het gehele jaar de lucht en bladverliezende beplanting doet dit niet. Dit hoeft geen probleem te zijn. Ozon komt alleen voor in het voorjaar / zomer en dan hebben de loofbomen bladeren. Fijnstof komt het gehele jaar voor en deze worden ook het beste afgevangen door naaldbomen. (Hoffman. M, 2009) (Cornelissen. T et al. 2012) Verder dient bij de soortkeuze rekening gehouden te worden met de gevoeligheid van het soort tegen de verontreinigende stoffen zoals strooizout en met eventueel veel voorkomende aantastingen.

Ook dient er rekening te worden gehouden met mogelijke grote vruchtval en eventuele allergische reacties zoals hooikoorts.

Als laatste, maar zeker niet minder belangrijk is dat de groeiplaats van het groen optimaal moet zijn. Dus een grondsoort waarop het groen kan / wil groeien, voldoende ruimte om zich te ontwikkelen en voor beheer.

De vervuiling in de bebouwde omgeving bestaat uit verschillende vervuilende stoffen. Deze mix van stoffen vraagt dan ook om een gemixte beplanting.

6.3.2 Richtlijnen voor de aanplant van groen

Op basis van onderstaande informatie kan de soortkeuze worden bepaald.

Richtlijnen op stadsniveau.

1. Zorg voor een duidelijke structuur.

- kijk wat de ideale groenstructuur is en neem deze als basis. Dus als blijkt dat sommige gebouwen de kwaliteit nadelig beïnvloeden hier maatregelen voor nemen.

-niet akkoord gaan met de bestaande situatie en daar groen in passen maar kijken hoe het groen / de bebouwde omgeving ingericht moet worden en dan het groen toepassen.

2. Vergroot het groenoppervlak om zo de afvangcapaciteit te vergroten.

- bij voorkeur aanplanten in grote maten.
- (dak- en gevel)groen om het warmte eiland effectief te verminderen.

3. Zorg voor een goede groeiplaatsinrichting.

- goede bodem.
- goede omgevingsfactoren.
- goede bereikbaarheid voor beheer.

4. Zorg ervoor dat groen de windsnelheid niet nadelig beïnvloed.

- plant groen op weloverwogen plaatsen.
- creëer "luchtstroken" zodat de bebouwde omgeving kan 'ademen' en de lucht zichzelf kan verversen. Dit is te realiseren door aanleg van groene open stroken evenwijdig aan de heersende windrichting, maar ook open ruimten onder gebouwen om de luchtstroom zo min mogelijk te hinderen.

5. Plant bomen op plaatsen waar ze geen overlast veroorzaken.

- dus niet in smalle steegjes, (kans op groene tunneleffect of street canyon) kies dan voor dak- en gevelgroen.
- bij aanplant al nagaan hoe groot de volwassen boom wordt en met die afmetingen ontwerpen.

6. Zorg voor voldoende variatie om zo de verschillende vervuilingen effectief te verminderen.

- dus combinatie van loof- en naalddhout bomen, heesters en klimplanten.

7. Beperk het gebruik van boomsoorten die veel vluchtige organische stoffen (VOS) uitscheiden en vermijd grootschalige aanplant hiervan om zo de zomersmog niet te bevorderen.

8. Gebruik geen soorten die gevoelig zijn voor luchtvervuiling.

- er zijn soorten die overgevoelig zijn voor een bepaalde vervuiling (o.a. ammoniak).

(Cornelissen. T et al, 2012)

9. Gebruik de juiste soort planten.

- gebruik loofbomen met gladde, grote en platte bladeren voor effectieve opname van stikstofoxiden. Hoe groter het blad hoe meer afvang. (Hoffman. M, 2009)
- gebruik groenblijvende naaldbomen voor effectieve opname van fijnstof gedurende het gehele jaar. (Hoffman. M, 2009)
- als alternatief voor naaldbomen, loofbomen met ruwe, behaarde en klevrige bladeren.

10. Zorg voor een goed beheerplan.

- een beheerplan op stad-, wijk- en straatniveau. Raadzaam is om ook een beheerplan te hebben voor het buitengebied omdat dit groen ook essentieel is voor de bebouwde omgeving.
- pleeg regelmatig onderhoud zodat de beplanting optimaal in conditie blijft en er geen grote takken gesnoeid moeten worden (meer dan 5 cm). Als deze wel gesnoeid moeten worden, geeft dat aan dat er te laat onderhoud is gepleegd, of het personeel onvakkundig is!
- zorg (indien mogelijk) voor een vaste beheerploeg, op die manier weet je als beheerder wat er speelt, waar de knelpunten liggen en wat je mensen kunnen. Er worden namelijk veel bomen/groen foutief gesnoeid, waardoor de vorm en gezondheid van de bomen/groen achteruit gaat!

11. Zorg voor beschaduwing

- zorg ervoor dat fietspaden, bushokjes, drukke straten etc. op het heetst van de dag niet in de brandende zon liggen.

Richtlijnen op lokaal niveau

Dit zijn richtlijnen waar het groen dicht bij de bron aanwezig is zoals een drukke weg, industrie etc.

1. Vergroen overbodige verharding.

- zoals parkeerplaatsen, terrassen, pleinen

2. Weet welke vervuilende stoffen je wilt afvangen.

- pas daar je soortkeuze op aan.

3. Zorg ervoor dat de beplanting minimaal een poreusiteit van 40 % heeft. (Hoffman. M, 2009)

- door een goede soortkeuze.
- door beheer (zoals dunnen).

4. Zorg ervoor dat het groen de windsnelheid niet teveel dempt in de buurt van de vervuilende bron

- houd voldoende afstand van de bron. (Hoffman. M, 2009)
- voorkom het groene tunnel effect. (Hoffman. M, 2009)
- creëer windstroken.

5. Plant bomen in lijnvormige elementen loodrecht op de aanstromingsrichting van de vervuilde lucht en laat deze terugkomen in de bebouwde omgeving. (Hiemstra. J, A. et al 2008)

- indien noodzakelijk de lijnelementen repeterend toepassen.
- beredeneer wat de gevolgen zijn als er een lijnelement wordt geplaatst (wat doet de vervuiling? Hoe gaat de lucht stromen? etc.

6. Gebruik bomen / groen rondom gevoelige objecten: (Cornelissen. T, et al, 2012)

- scholen.
- ziekenhuizen.
- verzorgingstehuizen

7. Zorg voor blad op verschillende niveaus zodat de vuilafvang optimaal is. (Hiemstra. J, A. et al. 2008)

- combineren van boomvormers, struiken, klimplanten en dak- en gevelgroen.
- diversiteit is zeer belangrijk.

8. Bomen met een warrige takstructuur leveren een bijdragen aan de opname van fijnstof ook als er geen blad aan de boom zit. (Hiemstra. J, A. et al. 2008)

- ideale soorten om zowel gassen als fijnstof af te vangen en NO₂ op te nemen.

9. Plant bomen voor het beschaduwen van parkeerterreinen. (Hiemstra. J, A. et al. 2008)

- dit vermindert de uitstoot van vluchtige organische stoffen (VOS) die uit de benzinetanks verdampen.

10. Gebruik indien nodig alternatieve groenstructuren dan bomen als de luchtcirculatie negatief wordt beïnvloed. Gebruik dan:

- dak- en gevelgroen.
- pergola-achtige structuren.
- klimplanten.
- hagen.
- struiken.

(Hiemstra. J, A. et al. 2008)

11. Zorg voor diversiteit in je beplanting.

- om zo een monocultuur te voorkomen en daarmee de kans op een grootschalige ziekte waardoor veel bomen / groen dood gaan.

6.3.3 Bepalen van effecten beplanting

Het mag duidelijk zijn dat er kwalitatief goed groen nodig is om aan alle richtlijnen te voldoen. Ook is er voldoende kennis nodig om het groen optimaal in de bebouwde omgeving te ontwerpen en te beheren. Bladeren of naalden vormen de belangrijkste plaats waar gasvormige luchtverontreiniging en fijnstof uit de lucht worden gefilterd. De verschillen in de bouw en de hoeveelheid bladeren (of naalden) bepalen in grote mate de geschiktheid en effectiviteit van het soort. Over de precieze effectiviteit van de verschillende soorten ontbreekt nog veel informatie. (Hoffman. M 2009) De opsomming van planten in bijlage 4 is dan ook een inschatting van de effectiviteit op basis van de eigenschappen van bladeren en naalden. De soorten zijn bepaald door Dhr. Ir. M.H.A. Hoffman en Dhr. Hiemstra en staan beschreven in (Hoffman. M, 2009)

Voor de stoffen fijnstof, stikstofoxiden en ozon en VOS is de effectiviteit geschat aan de hand van de volgende richtlijnen. (geciteerd van Hoffman. M, 2009)

Fijnstof

1. Naaldbomen zijn effectiever in het verwijderen van fijnstof dan loofbomen.
2. Binnen de categorie van loofbomen zijn bomen met ruwe en behaarde bladeren effectiever dan die met gladde en platte bladeren.
3. Soorten die groenblijvend zijn verwijderen meer fijnstof dan soorten die niet groenblijvend zijn.
4. Soorten met een groot bladoppervlak vangen meer fijnstof af dan soorten met een klein bladoppervlak. In die zin zijn bomen dus effectiever dan struiken.
5. Planten met kleine bladeren hebben een groter bladoppervlak en betere poreusiteit en zijn daardoor effectiever dan planten met een groot blad.

Voor stikstofoxiden

1. Loofbomen zijn vanwege de bladstructuur effectiever in het verwijderen van stikstofoxiden dan naaldbomen.
2. Binnen de categorie van loofbomen zijn bomen met gladde, grote en platte bladeren (veel huidmondjes) effectiever dan die met kleine, ruwe en /of behaarde bladeren.
3. Soorten met een groot volume en een groot bladoppervlak vangen meer stikstofoxiden af dan soorten met een klein bladoppervlak. In deze zin zijn bomen dus effectiever dan struiken.

Voor ozon en VOS

Het effect dat bomen en struiken hebben op de concentratie van ozon en VOS is erg complex. De ozonconcentratie wordt op verschillende manieren beïnvloed:

1. Als gevolg van verdamping van water hebben planten vooral op warme dagen een verkoelend effect op de omgeving. Dit tempert de vorming van ozon.
2. Bomen en struiken nemen stikstofoxiden op; hoe meer wordt opgenomen door de vegetatie, hoe minder ozon er kan worden gevormd.
3. Bomen en struiken kunnen ozon opnemen via de huidmondjes.
4. Bomen en struiken kunnen VOS vormen.

Hoe meer hiervan wordt gevormd, hoe meer ozon dit kan opleveren.
De effectiviteit door de absorptie van ozon loopt gelijk aan die van stikstofdioxide omdat het

opnameproces vergelijkbaar is. (voornamelijk via de huidmondjes)

Conclusie bomen en struiken kunnen dus de schadelijke VOS uitstoten (isopropenen en monoterpenen). Deze stoffen zijn bij deze concentraties niet schadelijk maar samen met stikstofmonoxide (NO_x) en zonlicht bevorderen ze de vorming van het schadelijk ozon (O₃). In de stedelijke omgeving reageert de ozon met het stikstofmonoxide (NO) uit autoverkeer tot stikstofdioxide (NO₂). Dit gas is schadelijk voor de gezondheid. Ook stoten sommige soorten stuifmeel (pollen) uit een voorbeeld hiervan is de berk. Sommige mensen ondervinden hier hinder van (hooikoorts).

Koolstofdioxide.

Alleen houtige gewassen waarin koolstofdioxide (CO₂) in de overblijvende houtige delen wordt vastgelegd zijn relevant voor CO₂ vastlegging. Voor het inschatten van de hoeveelheid vastgelegde CO₂ is ervan uitgegaan dat hoe meer volume hout een plant heeft, hoe meer CO₂ er is vastgelegd.

6.4 Toepassingsprincipes

6.4.1 Beplanting en luchtstromen

Beplanting beïnvloedt de verspreiding van vervuilende stoffen op twee manieren.

Ten eerste door verlaging van de windsnelheid en ten tweede door verandering van de windrichting (opstuwing). (Cornelissen, T, et al, 2012)

Het effect op de windsnelheid en windrichting is afhankelijk van het type, soort en de hoedanigheid waarin de beplanting is aangeplant. Een solitaire boom heeft een ander effect dan een bomenrij of een windsingel. (Cornelissen, T, et al, 2012)

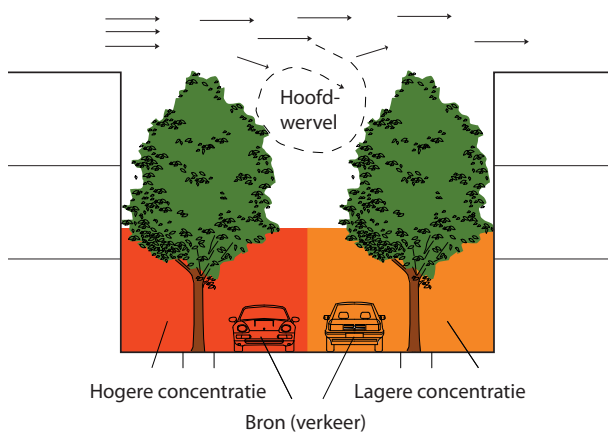
Als wind een obstakel tegenkomt, dan ontstaat er afhankelijk van het obstakel, een verlaging of verhoging van de windsnelheid en een verandering van de windrichting.

“Aan de kant waar de wind vanaf waait (lijzijde, benedenwinds) is de windsnelheid lager dan aan de loefzijde (bovenwinds, waar de wind naartoe stroomt) op geruime afstand achter de beplanting is de windsnelheid weer hersteld.” (Cornelissen, T, et al, 2012)

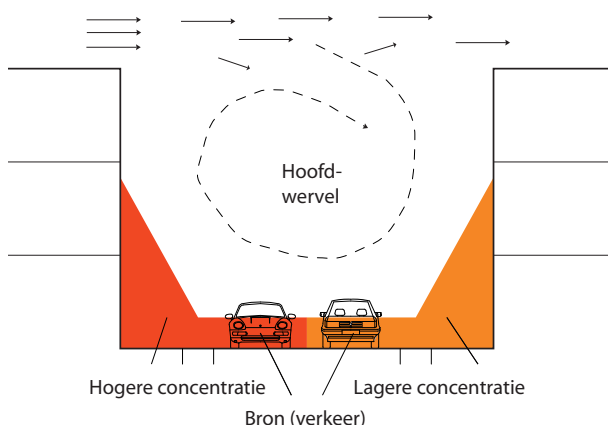


Figuur 6.16 Beplanting en windstromen gebaseerd op Cornelissen, et al, 2012

Als we kijken in de stedelijke omgeving bij de street canyon dan is de afvang van vervuilende stoffen van groen het grootst als de wind parallel (in een hoek van 0°) of schuin (in een hoek van 45°) ten opzichte van weg en gebouwen komt aanwaaien, omdat de vervuiling daarmee het beste wordt vermengd en afgevangen. Als de wind loodrecht (in een hoek van 90°) ten opzichte van de bebouwing komt aanwaaien dan is het vuilafvangende effect van beplanting minimaal of zelfs negatief! Het is dus belangrijk dat de wegen / gebouwen parallel aan de heersende windrichting worden gebouwd. De beplanting kan het vervuileniveau zelfs verergeren, omdat de beplanting ervoor zorgt dat de luchtstromen niet op het maaiveldniveau kunnen komen (daar waar de uitstoot van vervuilende stoffen grotendeels plaatsvindt). (Cornelissen. T, et al, 2012) In figuur 6.17 en figuur 6.18 is het verschil in vervuiling te zien met en zonder bomen. De wind komt in deze

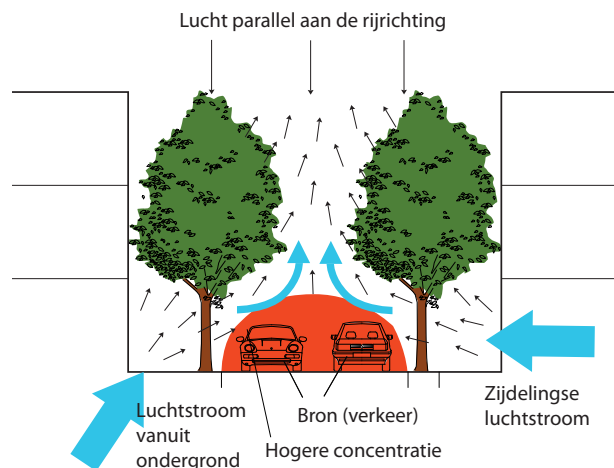


Figuur 6.17 Stromingspatroon in een streetcanyon met bomen. De bomen vergroten de luchtvervuiling. (gebaseerd op Cornelissen. T, et al. 2012 p 22)



Figuur 6.18 Stromingspatroon in een streetcanyon zonder bomen (gebaseerd op Cornelissen. T, et al. 2012 p 22)

voorbeelden haaks op de rijrichting. Het valt op dat er in beide gevallen hoge concentraties vervuilede stoffen in de hoeken blijven hangen. In figuur 6.19 is dit probleem verminderd, doordat er aan de zijkant / ondergrond luchtstromen langs het gebouw stromen, waardoor deze concentraties beter mengen. Doordat de luchtstromen door de boom heen gaan (mits voldoende poreus) is de afvang



Figuur 6.19 Stromingspatroon in een streetcanyon met beluchting parallel op de rijweg en op maaiveldniveau.

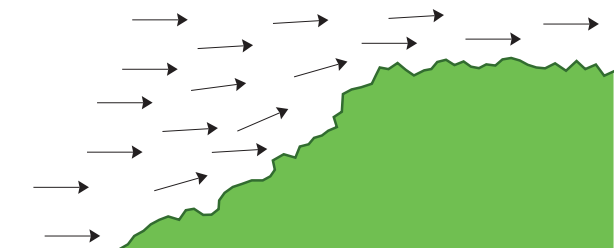
van vervuilende stoffen optimaal. Deze luchtstromen op maaiveldniveau zijn vaak niet aanwezig in de bebouwde omgeving. Enkele voorbeelden om dit te realiseren is het maken van doorgangen in gebouwen, fiets- en of wandelpaden verdiept aanleggen, waardoor luchtstromen ontstaan. Ook kan er gekozen worden om buizen te plaatsen (al dan niet onder maaiveldniveau) waar de lucht uitstroomt. Dit principe is te vergelijken met het luchtverversingssysteem in gebouwen. Zie figuur 6.20



Figuur 6.20 Luchtverversingssysteem binnenshuis. Dit principe kan natuurlijk ook buitenshuis worden toegepast. (www.arboportaal.nl)

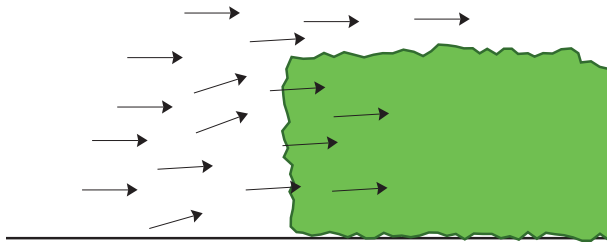
Poreusiteit beplanting

De opbouw en de poreusiteit van de beplanting bepaald de effectiviteit / zuiverende werking. Als de beplanting geleidelijk is opgebouwd (zoom, mantel, bos) dan gaat veel vervuilede lucht over de beplanting heen en is er dus weinig zuivering. De zuiverende werking is het grootste als vlak terrein abrupt overgaat in hoge beplanting. (Hoffman. M, 2009)



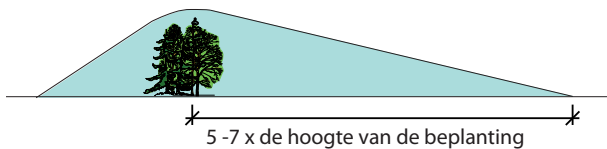
Figuur 6.21 Geleidelijke overgang. Veel (vervuilede) lucht gaat over de beplanting.

De lucht botst tegen de groene 'muur' en gaat hier zelfs doorheen waardoor de afzetting van de vervuilde stoffen groot is. Verder zijn er minder vervuilde stoffen (depositie) aan de lijszijde doordat de lichtsnelheid daar afneemt en omdat er hogere concentraties vervuilde stoffen (depositie) zich in het bos bevinden. *Hoffman, M., (2009)* De depositie van fijnstof kan zelfs ca. 40% lager zijn aan de lijszijde van een bos dan in het bos (*Bleekers en Draaijers, 2001*) De verlaging is merkbaar tot op een afstand die gelijk is aan maximaal zeven maal de hoogte van de beplanting.



Figuur 6.22 Abrupte overgang. Veel (vervuilde) lucht gaat door de beplanting. gebaseerd op de tekst van *Hoffman, M., 2009*

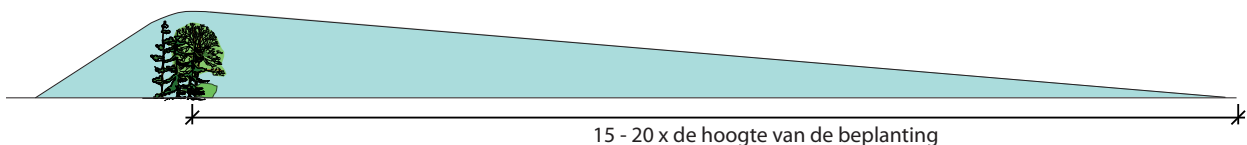
Het soort beplanting speelt hierbij een grote rol. Als de beplanting te massief is wordt de lucht opgestuwd en valt het achter de beplanting weer naar beneden, waardoor er veel turbulentie ontstaat. Het gebied waar een verlaging van het fijnstofniveau optreedt is 5 – 7 x de hoogte van de beplanting. (*Hoffman, M., 2009*)



Figuur 6.23 Dichte beplanting en de grootte van het verminderde fijnstofgebied

Als de beplanting een open karakter heeft dan is het effect optimaal doordat de lucht grotendeels door de beplanting heen gaat waardoor het afvangend vermogen groot is. Het gebied waar een verlaging van het fijnstofniveau optreedt is 15 – 20 x de hoogte van de beplanting. (*Hoffman, M., 2009*) (*Cornelissen, T, et al, 2012*) De depositie van fijnstof kan zelfs ca. 40% lager zijn aan de lijszijde van een bos dan in het bos (*Bleekers en Draaijers, 2001*)

Bij te hoog opgekroonde bomen gaat veel vervuiling onder de kroon door en wordt niet gezuiverd. Daarom is het raadzaam om onder de opgekroonde bomen, struiken te planten zodat de lucht altijd door beplanting moet en dus gezuiverd wordt. (*Hoffman, M., 2009*) De juiste poreusiteit is dus essentieel. In het

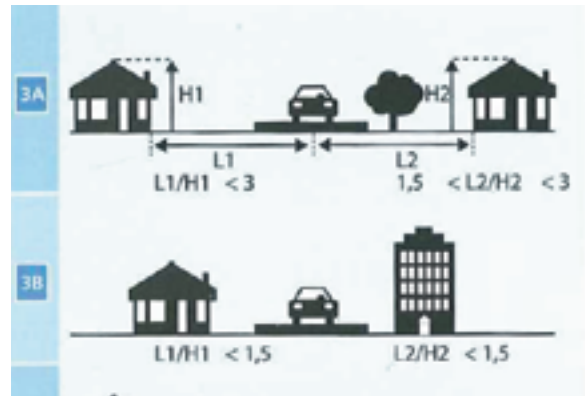


Figuur 6.24 Open beplanting en de grootte van het verminderde fijnstofgebied

algemeen wordt een poreusiteit van circa 40% geadviseerd. (*Hoffman, M., 2009*) Een kruin / beplanting is poreus indien door de bladeren de (blauwe) lucht kan worden waargenomen. Hoe meer blauwe lucht hoe groter de poreusiteit. De poreusiteit kan ook worden vergroot door beheersmaatregelen zoals opkronen, dunnen en afzetten van beplanting etc.

6.4.2 Street canyon en groene tunnel effect

Deze term wordt gebruikt als aan beide zijden van de weg bebouwing staat. Er worden twee typen street canyons onderscheiden. Zie figuur 6.25 Het verschil zit hem in de afstand van de weg tot de



Figuur 6.25 De verschillende typen street canyons (*Cornelissen, T, et al., 2012*)

bebouwing en de hoogte van de bebouwing. Bomen en bomenrijen in street canyons kunnen, doordat het bladerdek een afschermdak vormt en daarmee de luchtstroming verminderd, een negatieve invloed hebben op de luchtkwaliteit. Dit komt met name voor bij drukke street canyons, met veel verkeersemissies en hoge achtergrond concentraties waardoor de grenswaarden kunnen worden overschreden. *Cornelissen, T, et al, 2012*)

Het groene tunnелеffect houdt in dat het groen te dicht bij de luchtvervuilende bron staat en tegelijkertijd niet poreus genoeg is. Hierdoor daalt de lichtsnelheid en vermindert de menging van vervuilde stoffen met schone lucht. De luchtvervuiling blijft hierdoor hangen, waardoor er vaak een verhoging van de concentraties optreedt, doordat de concentratieverhoging groter is dan de filtering van het groen. Daarom heeft groen in deze situatie een negatief effect op de luchtkwaliteit. (*Hoffman, M., 2009*)

Dit effect kan worden voorkomen / verminderd door ervoor te zorgen dat de poreusiteit van de beplanting circa 40% bedraagt en is te bereiken door de aanplant van de juiste boomsoorten met



Figuur 6.25 Groene tunnel effect. De bomen geven elkaar de 'hand'

voldoende open kruinen, sterk opgaande kruinen of door gericht beheer (dunnen en snoeien). Het groene tunnel effect treedt alleen op binnen 100 meter van de bron als de uitlaatgassen niet volledig zijn vermengd met de omgevingslucht. (Hoffman, M, 2009) Daarom is de juiste afstand tussen bron en beplanting ook essentieel. Als de beplanting zich te dicht op de bron bevindt dan ontstaat er onvoldoende menging, waardoor het bovenstaande beschreven effect kan ontstaan (groene tunnel effect of street canyon).



Figuur 6.26 Foto boven poreuze beplanting. Foto onder dichte / gesloten beplanting

Als het planten van bomen niet mogelijk is dan kan er ook worden gekozen voor dak- en gevelgroen. Deze beïnvloeden de doorgaande luchtstromen minder dan straatbomen en hebben ook een zuiverende werking. Door het ruwe oppervlak van dak- en gevelgroen ontstaan veel luchtwervelingen waardoor er ook veel vervuilende stoffen (met name

fijnstof) wordt afgevangen. (Cornelissen, T, et al, 2012) Bovendien zorgt het dak- en gevelgroen voor verkoeling in de stedelijke omgeving en verminderd daarmee het stedelijke hitte eiland (urban heat island)

6.4.3 Lijnelementen

Lijnelementen zijn zeer effectief in het opnemen van vervuilende stoffen mits ze voldoende poreus zijn. Door de vorm komen veel bladeren / naalden in aanraking met de vervuilende stoffen. Als we dit vergelijken met een bos dan komen niet alle bladeren/ naalden in aanraking met de vervuilende stoffen. Om die reden gaat de voorkeur uit naar het planten van lijnelementen. Dit wil niet zeggen dat bossen geen verontreinigingen opnemen. Naar schatting verwijderen de bossen in Nederland gezamenlijk 7200 ton fijnstof per jaar (Houben et al, 2006) (Hiemstra, J, A., et al, 2008) Dit is 17 % van de totale hoeveelheid fijnstof die jaarlijks in ons land wordt uitgestoten. Bossen dragen dus bij om de landelijke concentratie fijnstof te verlagen. Lijnelementen zijn meer voor kleinschalige toepassingen en worden bijvoorbeeld toegepast in de vorm van houtwallen, bomenrijen, boomgroepen, plantstroken etc.



Figuur 6.27 Lijnelementen zoals een bomenrij (boven) en houtwal (onder)

Toepassen van lijnelementen.

Bij het toepassen dient er rekening te worden gehouden met een aantal factoren zoals afstand tot de bron, hoogte, poreusiteit van de beplanting en soortensamenstelling. (Hoffman, M, 2009) Om ervoor te zorgen dat boven een bepaald gebied een lage concentratie ontstaat moeten de bomen ver genoeg

van de bron afstaan om geen groen tunnel effect of street canyon te creëren en dicht genoeg om de vervuilde stoffen af te kunnen vangen. De poreusiteit van de beplanting speelt hierbij een grote rol in de grootte van het beschermde gebied. Dichte beplanting beschermt 5 - 7 keer de hoogte van de bomenrij terwijl beplanting met 40% poreusiteit 15 – 20 keer het achterliggende gebied beschermt. (Hoffman.M, 2009 en Hiemstra. J. A., et al, 2008) In deze beschermde gebieden zijn nog wel vervuilde stoffen aanwezig alleen is de concentratie lager dan de omgeving. (Hoffman.M, 2009) Zie de figuren 6.23 en 6.24

Stappenplan voor aanleg lijnelementen

1. Bepaal de verontreinigende bron(nen).
2. Bepaal het te beschermen gebied.
3. Bepaal de minimale afstand van beplanting tot de bron.
4. Pas lijnelementen toe, dicht of poreus (afhankelijk van de situatie en het te beschermen gebied).
5. Indien noodzakelijk de lijnelementen herhalen.

6.4.4 Parken

Parken zijn zeer belangrijk voor de luchtkwaliteit en het leefklimaat in de stad. Parken kunnen het Urban heat island effect verminderen doordat parken van zichzelf al koeler zijn dan de omgeving. (Kuypers. V, et al 2008) Door de parken gelijk te verdelen over het bebouwde gebied zijn de parken in staat om een bebouwde omgeving te koelen. Doordat de extreme temperaturen worden verkleind, ontstaat er een gematigder klimaat wat voor iedereen (maar met name voor ouderen) gunstig is. Onderzoeken wijzen uit dat als het groenoppervlak met 10% toeneemt, de temperatuur daalt met 10°C. (de Roo. M, et al, 2011) Door de koelere lucht is de productie van ozon minder waardoor de kans op smog afneemt. De luchtkwaliteit in parken is vaak beter dan de omgeving. Dit komt doordat de luchtsnelheid in parken lager is, er rondom parken vaak dichte



Figuur 6.28 Parken hebben een groot verkoelend vermogen.

begroeiing staat en vervuilde bronnen zich vaak op enige afstand van de verkeersemisies bevinden. Stadsparken met een open karakter en gelegen langs drukke straten hebben vaak een slechtere luchtkwaliteit dan de omgeving. De vervuilde lucht

waait het park binnen waardoor van een betere luchtkwaliteit geen sprake is. Het ideale park is dan ook een combinatie van open en gesloten beplanting zodat de verkoelende en zuiverende werking van het park optimaal is.

6.4.5 Bossen

Bossen zijn de grote luchtzuiveringsfilters voor vervuiling. Ze zorgen ervoor dat de achtergrondconcentraties afnemen. Door de verkoelende werking dragen ze bij aan vermindering van het stedelijke hitte-eiland. De Nederlandse bossen zijn in de loop der jaren sterk veranderd en daarmee ook de luchtzuiverende werking.

De Nederlandse bossen werden eind negentiende eeuw aangelegd voor de productie van hout. De productiebossen bestonden uit dichte percelen met dezelfde houtsoort (veelal naaldbout).



Figuur 6.29 Productiebos

In 1960 werden deze bossen omgevormd naar multifunctionele bossen die meer uit loofhout bestonden. Tegenwoordig is er een combinatie van productiebos en recreatiebos, waarbij het percentage naaldbomen verder afneemt. (Staatsbosbeheer 2013) Maar juist naaldbomen zijn zeer effectief om fijnstof af te vangen! Deze worden nu gekapt om wille van het "multifunctionele" bos. Om ervoor te zorgen dat de grote luchtzuiveringsfilters optimaal presteren is het belangrijk om een divers bos te creëren waarbij tenminste 65 – 70 % uit naaldbomen bestaat (beredenering Harrie Piggen) zodat er een goede balans ontstaat tussen de afvang van fijnstof en de gasvormige vervuilde stoffen zoals stikstofoxiden (NOx) en stikstofdioxide (NO2).



Figuur 6.30 "Multifunctionele" bossen

6.4.6 (Blok)hagen

(Blok)hagen zijn elementen die in verhouding tot bomen en heesters minder plaats in nemen. Ze zijn er in diverse verscheidingsvormen zoals strak, los, recht, gebogen, verschillende hoogten etc. Daardoor zijn ze goed toe te passen in de stedelijk omgeving. Enkele goede toepassingsvoorbeelden zijn tussen en of langs de rijwegen, aan de kopse kanten van parkeerplaatsen, op overgebleven hoekjes (hoekjes waar geen ruimte is voor bomen en of struiken) (Tonneijck. F, et al, 2008). De onderzoeken naar de effecten van hagen op het verbeteren van de luchtkwaliteit zijn zeer verschillend. Het ene onderzoek geeft geen verbetering aan, terwijl het andere onderzoek een lichte verbetering aangeeft. De lokale omstandigheden, de hoogte van de haag en de afstand tot de bron zijn hierbij zeer bepalend. Er is geen eenduidig antwoord op wat goed is. Daarom dient per situatie een passend ontwerp gemaakt te worden.



Figuur 6.31 Door de diverse vormen zijn hagen goed toepasbaar

6.4.7 Bomen in stedelijke omgeving

Bomen zijn in verhouding tot ander groen grote afvangers van vervuiling, doordat ze een groot (blad) oppervlak hebben. De plaatsing van bomen in de stedelijk omgeving is zeer complex. Foutieve plaatsing kan de luchtkwaliteit nadelig beïnvloeden. De bomen in een straat kunnen fungeren als barrière voor de doorstroming van lucht waardoor vermenging met verse lucht verminderd. Het gevolg hiervan is dat de vervuilde lucht niet goed wordt verdund, waardoor de luchtkwaliteit achteruitgaat. Daardoor kunnen de vervuilende stoffen (onder andere fijnstof en stikstofdioxide) onder het bladerdek blijven hangen waardoor de luchtkwaliteit

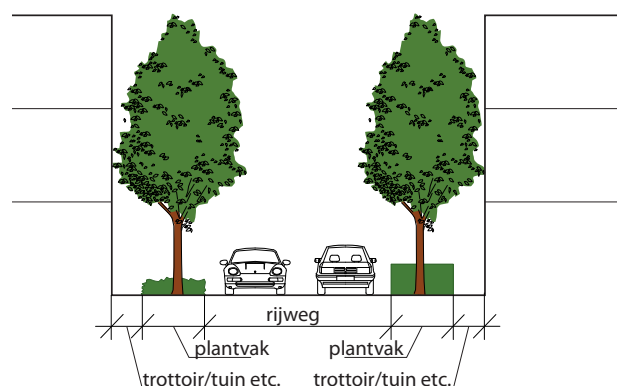
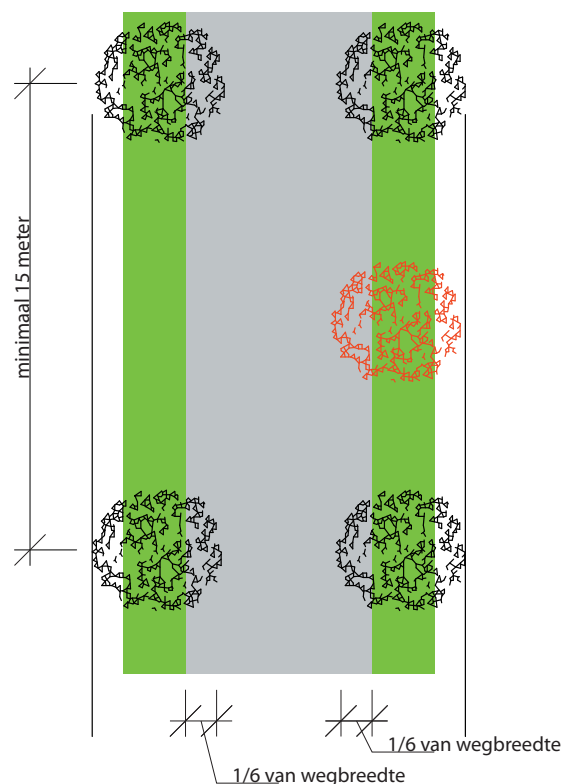


Figuur 6.32 Zo moet je bomen niet toepassen

verslechterd. (Cornelissen. T, et al. 2012)

Als grove vuistregel geldt dat de kronen van de bomen in (eindvorm) elkaar niet mogen raken en dat de kronen niet meer dan 1/3e deel van de straat mogen overlappen. Een meer zuilvormige en open kroonstructuur bevordert eveneens de doorstroming. De bomen dienen minimaal 15 meter uit elkaar te staan en kunnen het beste enige meters van de wegrand worden geplaatst. Hierdoor hangen de bomen minder snel over de rijbanen. Dit is uiteraard afhankelijk van de boomsoort.

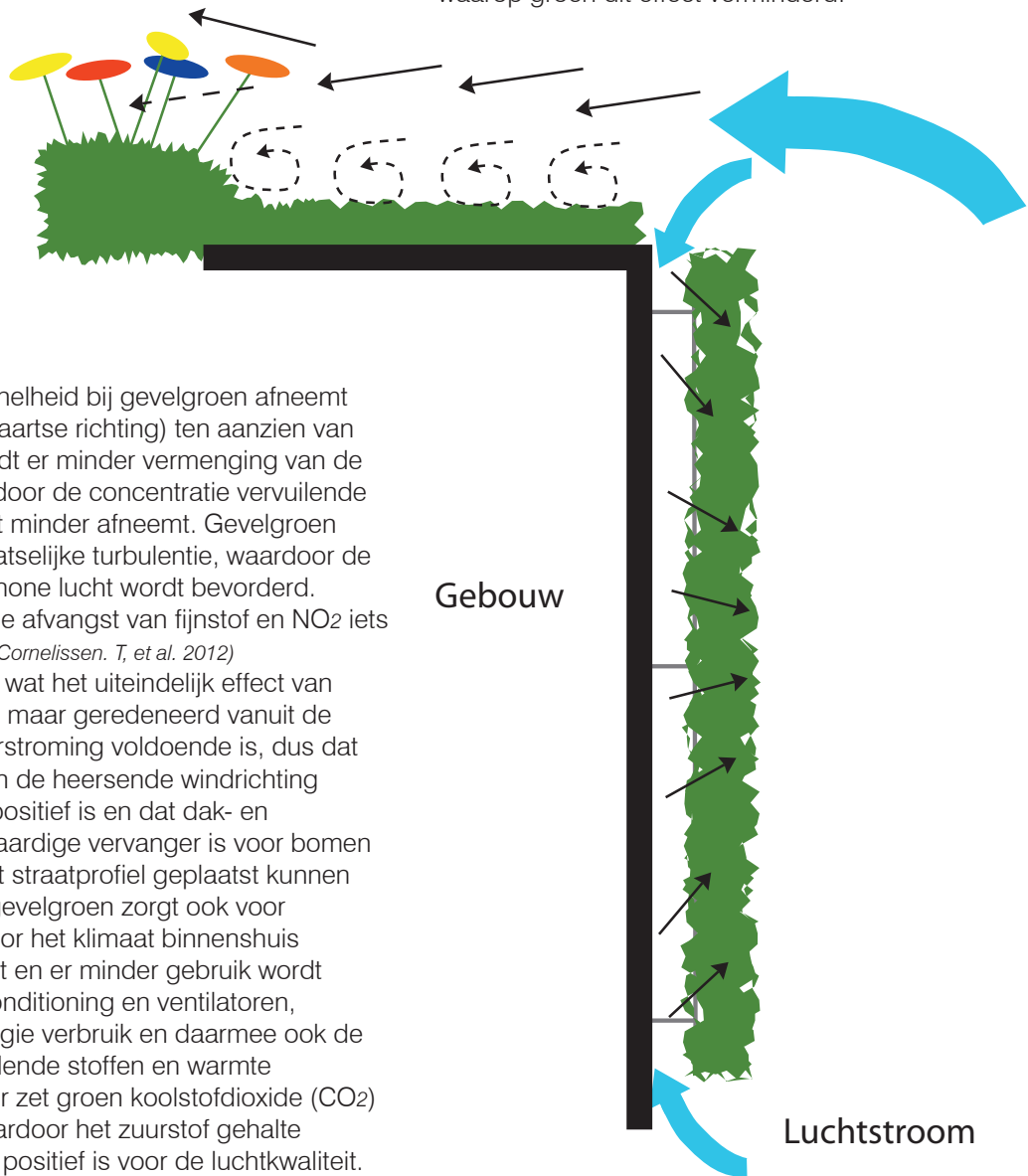
In het beheer van de bomen moet erop worden gelet dat de bomen een niet te dichte kroon gaan ontwikkelen (voldoende poreusiteit), te ver over de straat gaan hangen en niet in elkaar gaan groeien. De bomen kunnen zowel naast elkaar als versprongen worden aangebracht. In figuur 6.33 is dit te zien. De rode boom geeft de locatie aan als de bomen verspringend van elkaar worden aangebracht. (Cornelissen. T, et al. 2012)



Figuur 6.33 Het toepassen van bomen langs wegen

6.4.8 Dak- en gevelgroen

"Het is tot nu toe nog niet onderzocht of dak- en gevelgroen kan bijdragen aan een betere luchtkwaliteit in Nederland. Dakgroen heeft wel invloed op de luchtstromingen in de straat. Gevelgroen heeft een remmend effect op de stromingssnelheid vlak aan de gevel. Vanaf één meter voor de gevel zijn er geen verschillen gevonden tussen kale en begroeide muren.



Doordat de luchtsnelheid bij gevelgroen afneemt (met name in opwaartse richting) ten aanzien van een kale muur, vindt er minder vermenging van de lucht plaats, waardoor de concentratie vervuilende stoffen in de straat minder afneemt. Gevelgroen zorgt wel voor plaatselijke turbulentie, waardoor de inmenging van schone lucht wordt bevorderd. Daardoor neemt de afvangst van fijnstof en NO₂ iets toe." (Geciteerd van Cornelissen, T, et al. 2012)

Het is niet bekend wat het uiteindelijk effect van deze processen is maar geredeneerd vanuit de logica, als de doorstroming voldoende is, dus dat straten parallel aan de heersende windrichting liggen, het effect positief is en dat dak- en gevelgroen een waardige vervanger is voor bomen die niet altijd in het straatprofiel geplaatst kunnen worden. Dak- en gevelgroen zorgt ook voor verkoeling waardoor het klimaat binnenshuis aangenamer wordt en er minder gebruik wordt gemaakt van airconditioning en ventilatoren, waardoor het energie verbruik en daarmee ook de uitstoot van vervuilende stoffen en warmte verminderd. Verder zet groen koolstofdioxide (CO₂) om in zuurstof waardoor het zuurstof gehalte toeneemt wat ook positief is voor de luchtkwaliteit.

Bij de aanleg van dak- en gevelgroen dient er met het volgende rekening gehouden te worden. Het dak- en gevelgroen dient de vermenging van vervuilde met schone lucht zo min mogelijk te belemmeren. Het type dak en of gevelgroen is ook belangrijk. Sedum hindert de luchtstromen nauwelijks terwijl hogere beplanting de luchtstromen logischerwijs meer hinderen. Als gevelgroen op enige afstand van de muur wordt aangebracht, kan de lucht door de beplanting stromen waardoor de afvangst van vervuilende stoffen wordt vergroot. (Cornelissen, T, et al. 2012)

6.4.9 Urban heat island

Dit is een groot probleem in de stad en is globaal beschreven in hoofdstuk vijf. In deze subparagraaf wordt dieper op het urban heat island ingegaan en wordt beschreven op welke manier dit effect kan worden verminderd. Alle aanplant van groen verkleint het stedelijk hitte eiland maar in onderstaande tekst worden een aantal specifieke voorbeelden beschreven en de manieren hoe en waarop groen dit effect verminderd.

Figuur 6.34 Toepassingsprincipe dak- en gevelgroen

Dat het urban heat island een groot probleem is blijkt uit de tabel in figuur 6.35 Hieruit blijkt dat in 2006 tijdens de hittegolf 1000 mensen vroegtijdig stierven en de hittegolf in Nederland daarmee een vijfde plaats innam!!

Naast doden ondervinden veel mensen hinder van de warmte door bijvoorbeeld vermoeidheid, concentratieproblemen, uitputting door uitdroging, hittekramp, hitte-syncope (problemen met de bloedsomloop met onder andere

flauwvallen tot gevolg) en hitte beroertes (zoals een zonnestreek) Gesteld kan worden dat tijdens een hittegolf er voor iedere graad hoger dan het langjarig gemiddelde, per week ongeveer 31 mensen meer sterven. In extreme perioden kan het verschil tussen stedelijk en landelijk gebied 10 °C bedragen. (Kuypers. V, et al 2008)

	Type natuurramp	Land	Aantal doden
1	Aardbeving (Yogyakarta)	Indonesië	5.778
2	Storm (Typhoon Durian)	Filippijnen	1.339
3	Extreme Temperatuur (Hittegolf)	Frankrijk	1.338
4	Modderstromen (Aardverschuiving)	Filippijnen	1.126
5	Extreme Temperatuur (Hittegolf)	Nederland	1.000
6	Extreme Temperatuur (Hittegolf)	België	940
7	Storp (Typhoon Billes)	China P. Rep.	820
8	Vloedgolf (Tsunami)	Indonesië	802
9	Extreme Temperatuur (Vorstperiode)	Oekraïne	801
10	Overstroming	Ethiopië	498

Top-10 van natuurrampen in 2006 naar aantal doden. (Hoyois, 2007)

Figuur 6.35 Top 10 grootste natuurrampen in 2006 (Hoyois P et al, 2007)

De temperatuur is niet gelijk verdeeld over de bebouwde omgeving. De volgende factoren spelen hierbij een rol:

- het percentage verhard oppervlak en de weerkaatsing daarvan
- het lokale weerpatroon
- de ligging
- de luchtstromen
- de hoeveelheid groen
- de hoeveelheid en concentratie van warmte uitstoters
- hoeveelheid water

Groen is, zoals blijkt uit bovenstaande opsomming, een factor die temperatuursverandering te weeg kan brengen. Maar zoals ook uit de opsomming blijkt is dat afhankelijk van vele factoren.

Opgaand groen zorgt voor schaduw waardoor het zonlicht de bodem niet kan bereiken en daardoor ook geen / minder warmte op het verharde oppervlak kan worden opgeslagen.

Parkeerplaatsen

Door bomen langs / op parkeerplaatsen te plaatsen ontstaat schaduw. Door de auto in de schaduw te zetten wordt er minder warmte geabsorbeerd en minder VOS uitgestoten. (Hiemstra. J. A., et al, 2008)



Figuur 6.36 Groene parkeerplaatsen beperken door de schaduwwerking de uitstoot van VOS bij voertuigen.

Groendaken

Veel daken bestaan uit dakpannen of dakleer en zijn donker gekleurd. Deze daken nemen zeer veel warmte op. Door daken een lichtere kleur te geven weerkaatsen ze meer zonlicht waardoor ze daken minder warm worden.

Een nog betere optie is om daken te bedekken met groen. Deze groendaken zorgen voor een veel constanter klimaat. In de zomer kan de temperatuur van een bitumendak oplopen tot 70 °C terwijl de temperatuur van een grasdak maximaal 32 °C kan worden. (Kuypers. V, et al 2008) Het groen zorgt in de zomer voor verkoeling en in de winter voor isolatie. Dit zorgt ervoor dat airconditioning minder noodzakelijk is, waardoor het stroomverbruik en daarmee de uitstoot verder wordt verminderd.

Verkoelend vermogen groen

Doordat groen het water uit de veelal koudere ondergrond onttrekt voor het verkrijgen van voedingsstoffen en om oververhitting te voorkomen, ontstaat verkoeling. Bomen halen het water uit diepere grondlagen die wel tot 10 °C koeler kunnen zijn dan de omgeving. Het gevolg, er ontstaat een koel microklimaat onder het bladerdek. De temperatuur van een boom is in de top hoger dan beneden door de opname van zonlicht voor het fotosyntheseprocess. (Kuypers. V, et al 2008)

De gevoelstemperatuur onder een vrijstaande boom, is lager dan de gevoelstemperatuur zonder boom terwijl de temperatuur min of meer hetzelfde blijft. Dit komt doordat de straling van het zonlicht (UV-straling) wordt tegengehouden door de boom. (Kuypers. V, et al 2008)

Water

Dit is natuurlijk geen groen maar wel een zeer belangrijk element om mee te koelen. Door de aanleg van watergangen waarover wind blaast, ontstaan er koelere luchtstromen die de bebouwde omgeving ingaan. Ook de aanleg van waterornamenten zoals fonteinen en watervallen zorgen voor verkoeling.



Figuur 6.37 Water als effectief "koel element"

Bomenrijen

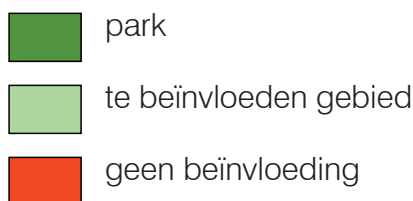
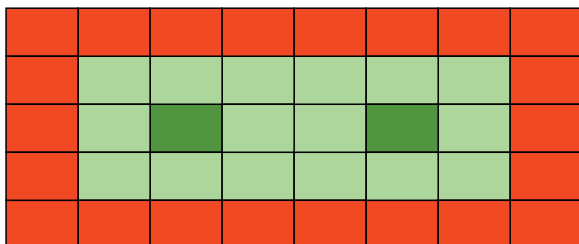
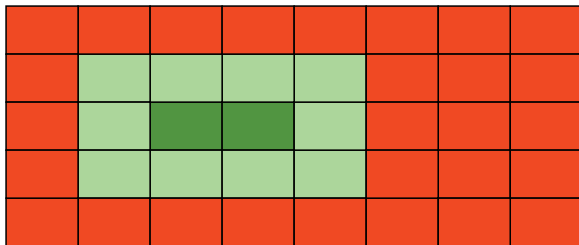
Door het grote oppervlak zijn bomen in staat om veel schaduw te produceren en daarmee de warmte eilanden te verkleinen. Diverse onderzoeken hebben aangetoond dat door beschaduwing van de buitenruimte de temperatuur op maaiveldniveau met 5 tot 20°C kan verlagen. In plaats van bomen kunnen natuurlijk ook pergola-achtige constructies, struiken of ander groen worden toegepast.



Figuur 6.38 Schaduwwerking van bomen

Parken

Door de verkoelende werking van groen fungeren parken, mits goed ontworpen, als koelelementen. Stadsparken zijn niet alleen koeler dan de omgeving, ze laten zowel overdag als 's avonds de omgeving afkoelen. Grofweg kan er gezegd worden hoe meer groen in een park hoe koeler het park en de omgeving, maar hoe meer wegen / verharding in



Figuur 6.39 Meerdere kleinere parken hebben een groter verkoelend effect op de omgeving dan één groot park. gebaseerd op (Kuypers. V, et al, 2008)

een park, hoe warmer het park en de omgeving. Bij foutieve aanleg kan een park zelfs negatief bijdragen aan het Urban heat island.

Met meer dan 50% verharding is de kans groot dat een park zelf een urban heat island wordt! (Kuypers. V, et al., 2008) Ook de windrichting en windkracht spelen een rol net als de hoogte van de bebouwing.

Voor kleinere parken, pleinen etc. geldt dat het beïnvloede gebied tussen twee en vier maal de breedte van het park is. (Kuypers. V, et al 2008)

Verder heeft herhaling van groen meer effect dan één groot park (Chen Y.&N.H. Wong)

Ook het aanplanten van bos in het buitengebied op plaatsen waar veel hitte en verdroging aanwezig is verkleint het urban heat island. (Kuypers. V, et al 2008)

De volgende paragraaf gaat buiten dit onderzoek om maar zet wel aan tot denken: Wat zou het effect zijn als we de gehele woestijn zouden beplanten met bomen en groen? Dit is zeker mogelijk, want zoals eerder is beschreven maakt groen een eigen klimaat waardoor, als er meer groen wordt aangeplant, de groeiomstandigheden zullen verbeteren voor het groen en de woestijn langzaam verandert. Het zou naar mijn mening het klimaat op de aarde veranderen.

Wat zou het effect zijn als we de gehele woestijn zouden beplanten met bomen en groen?

Dat de aarde opwarmt daar zijn vele mensen het over eens, dit komt grotendeels door menselijk handelen. Wij Nederlanders hebben van zee (verkoeling) land gemaakt met bebouwing (grote warmte uitstoot) Alleen al dit feit heeft grote impact op het klimaat en dan hebben we het nog niet eens over de uitstoot van schadelijke stoffen.

6.4.10 Locatie

De locatie van de verschillende groene elementen is zeer belangrijk om zoveel mogelijk vervuiling af te vangen. Het groen kan bij de bron staan zoals bij verkeerswegen en industrieën, bij de ontvanger zoals de mens, woningen en natuurgebieden maar ook tussen bron en ontvanger zoals in de vorm van lijnelementen.

Verschiedende onderzoeken hebben aangetoond dat plaatsing van bos en plantsoen dichtbij de vervuilde bron, relatief de grootste hoeveelheid fijnstof kan worden ingevangen waardoor piekconcentraties worden verminderd. (Wesseling en anderen, 2004 is geciteerd in Hoffman. M, 2009) De afvang van vervuilde stoffen is optimaal als er rondom de bron (dus in alle windrichtingen) beplanting wordt toegepast. De beplanting mag niet te dicht op de bron staan in verband met het groene tunneleffect. De vervuilde stoffen moeten zich voldoende kunnen mengen met de lucht, als dit

niet kan, dan wordt de concentratie aan de lijzijde groter. Dit komt omdat de luchtstroom met een lage snelheid niet door de beplanting gaat maar blijft "hangen" (Hoffman. M, 2009)

Bossen of andere beplanting verder weg van de bron zijn nuttig als extra luchtzuiveringsfilter. Ze zijn vooral nuttig om de landelijke achtergrondconcentraties te verminderen. (Hoffman. M, 2009)

Kleinere bosjes / lijnelementen met open stukken zijn effectiever dan één groot bos omdat het contactoppervlak van vervuilde lucht sterk wordt vergroot. Naar schatting vangen groenelementen bij gemiddelde meteorologische omstandigheden maximaal 15-20% van het fijnstof (PM10) af. De concentratie van stikstofdioxide (NO₂) kan maximaal met 10% worden verlaagd door de groenelementen met de juiste poreusiteit (Wesseling en anderen, 2004 is geciteerd in Hoffman. M, 2009)

In de bebouwde omgeving is de aanplant complexer en hangt af van veel factoren. Zoals lokale omstandigheden, waaronder de achtergrondconcentraties, de verkeersbelasting, wegtypen en windstroming. Deze zijn zeer belangrijk voor de keuze van de beste locaties om bomen en struiken aan te planten. Om het effect van de depositie (afvang) van vervuilende stoffen te vergroten is het raadzaam om bomen, struiken en ander groen op windrijke plaatsen te planten. Bij hogere windsnelheden is de botsingskans van de deeltjes groter en daarmee ook de afvang.



Figuur 6.40 Groen op de verkeerde locatie

6.5 Ontwerpprincipes bebouwde omgeving

Groen heeft veel gunstige eigenschappen voor de bebouwde omgeving. Om groen toe te passen moet er worden gekeken naar welke onderdelen er aangepast kunnen worden. Weerpatronen zoals temperatuur, wind en ligging (bijvoorbeeld in het binnenland of aan het water) kunnen niet worden aangepast. De inrichting van de bebouwde omgeving en het type woningen zoals hoogbouw, laagbouw en de dichtheid hiervan kunnen wel worden aangepast!! Vervang grijs door groen om het urban heat island effect te verminderen.



Figuur 6.41 Iedere bebouwde omgeving was vroeger grasland, bos etc. Kijk en bereken de impact van bebouwde omgeving op het klimaat

Voor het ontwerpen van een goed functionerende groenstructuur moeten vooraf de volgende vragen worden beantwoord:

- Welk effect wilt u bereiken / wat is uw doel?
- Welke schaalniveau(s) heeft u tot uw beschikking?
- Wat zijn de mogelijkheden binnen de schaalniveaus?
- Welke middelen heeft u tot uw beschikking?

Welk effect wilt u bereiken / wat is uw doel?

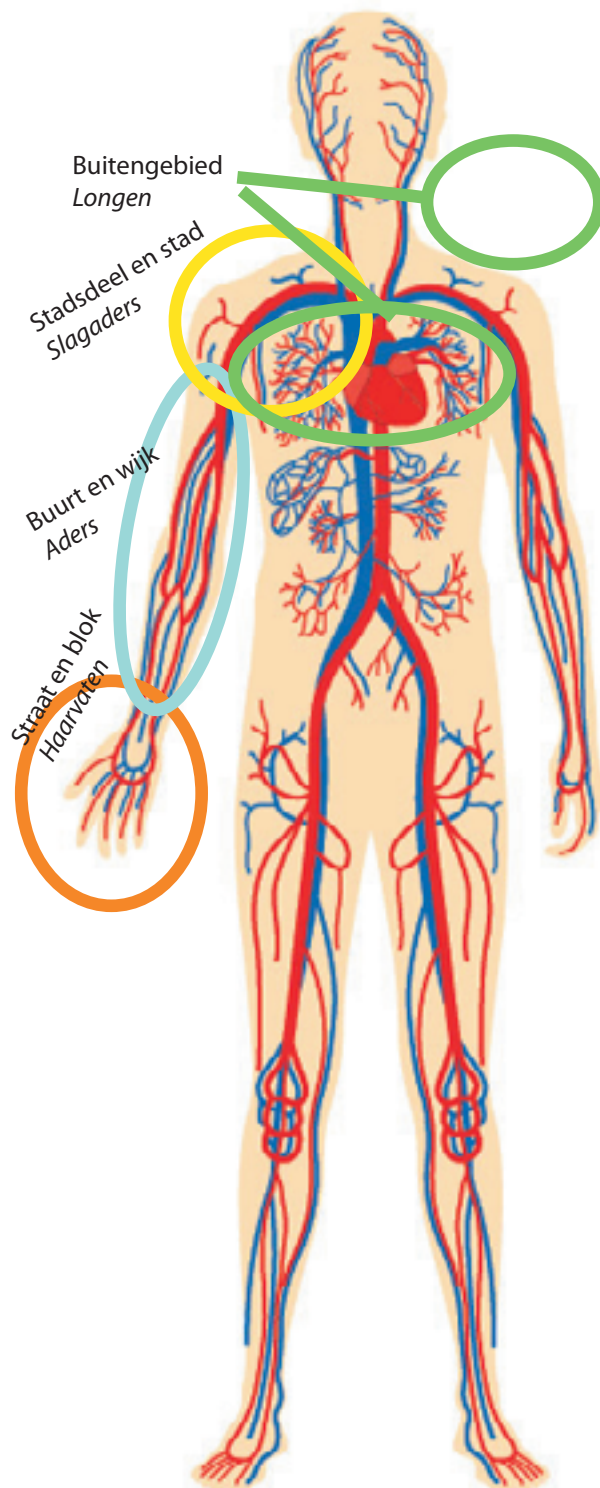
Het is belangrijk om vooraf realistische doelen te stellen. Groen is niet de oplossing maar kan wel bijdragen aan een vermindering van het luchtkwaliteitsprobleem. Het dient een onderdeel te zijn van een integrale aanpak. Groen is het enigste product dat naar aanplant groter wordt en daarmee beter functioneert. Daarom is het belangrijk dat de doelen goed onderbouwd zijn. Het ontwerpen, aanleggen en onderhouden van een groenstructuur kost veel tijd en een groenstructuur verplaatsen is niet altijd mogelijk.

Welke schaalniveau(s) heeft u tot uw beschikking?

Ieder schaalniveau heeft zijn eigen doel en toepassingsprincipes voor het verbeteren van de luchtkwaliteit.

Het vergt enige vaardigheid om de zeven verschillende schaalniveaus (straat en blok, buurt en wijk, stadsdeel en stad en het buitengebied) te onderscheiden. Immers elke weg is een straat. Probeer te beredeneren wat het doel is van het gebied en op basis daarvan onderscheid in de schaalniveaus te maken. Een buurt- en hoofdontsluitingsweg zijn beide wegen maar het

hoofddoel kan verschillen. Vergelijk het met de bloedvaten van het menselijk lichaam. Deze zijn op te delen in haarvaten (straatniveau), aders (wijkniveau), slagaders (stadsniveau) en lucht die wordt ingeademd (buitengebied). Het zijn alle drie bloedvaten maar toch vervullen ze een andere functie. Met dit in het achterhoofd houdende kunt u de schaalniveaus eenvoudiger onderscheiden. Dit "systeem" wordt de rest van dit rapport het "bloedvatprincipe" genoemd.



Figuur 6.41 Bloedvaten vergeleken met de bebouwde omgeving

Straat en blok (haarvaten)

Op straatniveau worden maatregelen genomen tegen lokale bronnen en mogelijke knelpunten (hot spots). Groen vangt meer vervuillende stoffen af naarmate er meer verontreiniging in de lucht zit. Plant het groen daarom dichtbij de bron maar voorkom het groene tunnel effect! Goede groentypen op straatniveau zijn (laan)bomen, blokhagen en dak- en gevelgroen.

Buurt en wijk (aders)

Dit is de schakel tussen straat- en stadsniveau. Deze schakel is zeer belangrijk en is gericht op het verkoelen van de gehele wijk, het verbeteren van de luchtkwaliteit op wijkniveau en het verminderen van het urban heat island. Er worden maatregelen gekomen om lokale en stedelijke concentraties te verminderen. Dit kan door middel van buurtparken, groenstroken, grasvelden, bomenlanen, watergangen etc. Goede locaties zijn de buurt- en wijkontsluitingswegen, sportvelden, bedrijventerrein, parken etc. Een optimale verspreiding van de groenelementen is hierbij essentieel waarbij het groen zowel gecentreerd (b.v. parken) als verspreid b.v. bomenlanen wordt aangebracht.

Stadsdeel en stad (slagaders)

Dit niveau heeft als hoofddoel zorgen voor een goede doorstroming van lucht zodat de lucht op zowel straat als wijkniveau wordt verversd. Het stadsniveau staat in direct contact met het buitengebied en het wijkniveau. Het groen is grootschalig van karakter en bestaat voornamelijk uit bomen. Voorbeelden van dit type groen zijn parken, groenstroken, watergangen, parkways etc.

Buitengebied (de lucht die men inademt)

Deze schakel valt buiten de bebouwde omgeving maar is daarmee zeker niet minder belangrijk. Dit niveau heeft als doel het verminderen van de achtergrondconcentraties van landelijke en regionale bronnen zoals de concentraties in de bebouwde omgeving. Verder heeft het als doel het leveren van "schone" lucht. Doordat dit onderdeel grote hoeveelheden "schone" lucht levert aan de bebouwde omgeving, is voldoende windstroming in het buitengebied, maar ook in de bebouwde omgeving essentieel. Het groen bestaat uit bossen, watergangen, boomstructuren, houtwallen etc. U zult begrijpen, dat als één of meerdere schakels ontbreken of niet naar behoren functioneren het gehele systeem niet optimaal werkt. Dit is ook zo met de bloedvaten in het menselijk lichaam. Als er een schakel ontbreekt is bloedtoevoer en dus luchtverversing niet mogelijk, of als een schakel slecht functioneert dan is er verminderde toevoer waardoor er allerlei, al dan niet ernstige kwalen ontstaan. Houd, bij het ontwerpen van bebouwde omgeving, het bloedvatprincipe in gedachten.

Wat zijn de mogelijkheden binnen de schaalniveau(s)?

Straat en blok

Afhankelijk van de breedte van het straatprofiel dient het juiste soort groen te worden aangeplant. Op 5 - 7 meter komen veel vervuilende stoffen voor. (Tonneijck.F. et al 2008) Probeer daarom, indien mogelijk, bomen te planten omdat deze veel vervuilende stoffen afvangen. Er is geen eenduidige breedte aan te geven waarbij bomen geplant kunnen worden. Zorg er in ieder geval voor dat de bomen de luchtstromen niet negatief beïnvloeden zodat het groene tunnel effect wordt voorkomen. Plant maximaal twee bomenrijen langs elkaar en zorg voor een poreusiteit van minimaal 40 % om te voorkomen dat de lucht over de bomen heen gaat.

Dak- en gevelgroen is ook een effectieve afvanger / opnemer van verontreinigende stoffen. Fijnstofdeeltjes kunnen door een voertuig 5 – 7 meter worden opgewaaid. (Tonneijck. F. et al 2008) Daarom is het belangrijk om op die hoogten dak- en gevelgroen aan te brengen. Blokhagen en bodembedekkers zijn het effectiefst om direct langs of zelfs tussen de rijwegen te plaatsen. Een goede hoogte is 0.6 – 1.0 meter. (Tonneijck. F. et al 2008) De hagen dienen minimaal 40 % poreus te zijn. Door deze hoogte worden de vervuilende stoffen effectief afgevangen.

Buurt en wijk

Dit schaalniveau is de schakel tussen straat en stad. Groen kan worden toegepast tegen lokale en regionale bronnen. Maatregelen kunnen genomen worden langs snelwegen, hoofdontsluitingswegen en op- en afritten van wijken en terreinen. Doordat er op dit schaalniveau over het algemeen meer ruimte beschikbaar is (en vaak ook meer uitstoot) dan op het straat- en blokniveau, kan er grootschaliger groen worden toegepast. Doormiddel van repeterende groene lijnen kan er een gebied ontstaan dat relatief schoner is dan de omgeving. Ook zijn aaneengesloten stukken groen belangrijk voor de afvang maar ook voor de verkoeling van de straat, blok, buurt en wijk. Sportcomplexen, parkeerplaatsen, parken, pleinen, kantoorgebouwen, kantoorparken en bedrijventerreinen zijn hier goede locaties voor. Watergangen zijn op dit niveau ook erg belangrijk. Zij zorgen voor verkoeling en voor een rijke biodiversiteit waardoor er een beter leefklimaat ontstaat. (Tonneijck. F. et al 2008)

Stadsdeel en stad

Het groen op dit schaalniveau heeft als hoofddoel het doorlichten van de gehele stad en dit onderdeel vertaalt zich in een aantal groen / blauwe banen door de stad. In het bloedvatprincipe is dit te vergelijken met de slagaders. Deze banen moeten aansluiten op het groen van het wijkniveau. Op die manier ontstaat er een natuurlijke luchtstroom door

de stad waardoor de lucht in de stad ververst kan worden. Bij voorkeur liggen deze groen / blauwe banen evenwijdig aan de windrichting zodat de wind goed door deze banen kan stromen. De groen/ blauwe banen kunnen ook worden aangelegd langs wegen of watergangen die reeds aanwezig zijn. Deze banen bestaan bij voorkeur uit bomen met onderbegroeiing, gazons, hagen en heesters. Ook kunnen deze groene / blauwe banen als park worden ingericht. Zo ontstaan er smalle, langgerekte parkachtige structuren in de stad, waardoor niet alleen de luchtkwaliteit beter wordt maar de recreatiemogelijkheden toenemen.

Buitengebied

Deze schakel zorgt voor de aan- en afvoer van schone en vervuilde lucht uit de stad. Het buitengebied is dus een zeer belangrijk onderdeel. De bebouwde omgeving is zelf niet in staat om alle vervuilde lucht te zuiveren maar heeft hulp nodig van buitenaf. Het groen kan dan ook worden gezien als grote luchtfilters. Een duidelijke structuur met bossen, watergangen, boomstructuren, houtwallen etc. is essentieel om de landelijke-, stedelijke- en lokale luchtkwaliteit en het leefklimaat te verbeteren. Kleine bossen nemen in verhouding meer vervuiling op dan grote bossen doordat de lucht door deze bossen kan stromen en dit bij grote bossen niet of minder het geval is. Het groen dient daarom bij voorkeur verspreidt en in kleine hoeveelheden te worden aangeplant. Ook moeten de groenelementen minimaal 40% poreus zijn.

Welke middelen heeft u tot uw beschikking?

De middelen die u ter beschikking hebt zijn van grote invloed op de aanplant van groen. Voor het optimaal toepassen van het juiste type groen verzoek ik u om de verschillende beslisbomen te volgen. (zie 6.7 beslisbomen) De beslisbomen geven aan hoe u het beste een bepaalde situatie kunt vergroenen. Houd altijd het bloedvatprincipe in het achterhoofd. Aanplant van groen is goed maar onderhoud is het aller belangrijkste! In de praktijk komt het nog al eens voor dat er onvoldoende geld is voor het onderhoud waardoor er achterstallig onderhoud ontstaat. Dat moeten we met z'n allen niet willen. Daarom dient hier al in de beginfase rekening mee te worden gehouden. Als u groen gaat aanplanten plant dan voldoende grote maten aan. Immers hoe groter hoe meer opname van vervuilende stoffen. Een boom dient minimaal 14-16 cm te zijn. Bovendien is de boom daarmee ook beter bestand tegen vandalisme.

6.6 Hoeveel vervuilende stoffen vangt beplanting af?

Het is niet mogelijk om algemene uitspraken te doen over 'het' effect van beplanting op de luchtkwaliteit. Er kan alleen worden gesproken over een te verwachten effect voor een bepaalde

specifieke situatie. Overal spelen dezelfde mechanismen een rol, namelijk afvangst van vervuilende stoffen, vermindering van de windsnelheid en turbulentie. De grootte hiervan en hoe ze op elkaar inwerken is afhankelijk van onder andere het schaalniveau, de locatie, de vorm van de beplanting en de weersomstandigheden. De effecten zijn ook nog eens lastig te bepalen. Het meten van de effecten is moeilijk en het doorrekenen van effecten met modellen heeft beperkingen. (Cornelissen. T, et al, 2012)

Er is nog relatief weinig onderzoek gedaan naar de hoeveelheid vervuilende stoffen dat beplanting opneemt/ afvangt. De onderzoeken die gedaan zijn hebben verschillende uitkomsten. Zo zegt een onderzoek van McPherson et al. (1994) dat een gemiddelde stadsboom (31-46 cm) ongeveer 140 gram fijnstof (PM10) afvangt en bij grotere bomen (>77 cm) loopt dit op tot bijna 500 gram PM10. Uit een onderzoek in Estland van Kaasik et al. (2004) bleek dat de individuele bomen tussen de 0.025 en 1.4 kg fijnstof (PM10) per jaar uit de lucht afvangen afhankelijk van de diameter. Uit een onderzoek van Jun Yang et al. (2005) blijkt dat een gemiddelde stadsboom in Beijing zo'n 300 gram fijnstof (PM10) afvangt. Kortom, de uitkomsten zijn zeer verschillend. Dit komt omdat beplanting onderling sterk verschilt ook al is het hetzelfde soort. Er is veel variatie in leeftijd, groei-, plantplaats etc. Ook de

verschillende toepassingsmethoden zorgen voor verschillende waarden. Zo nemen kleine bossen relatief meer fijnstof op dan grote bossen van hetzelfde soort, omdat de lucht daar beter doorheen kan stromen. De poreusiteit van de beplanting hangt hier ook sterk mee samen. Daarom is het lastig / niet mogelijk om een eenduidig antwoord te geven op hoeveel een bepaald type groen afvangt. Het fijnere fijnstof PM2.5 μm wordt veel moeilijker afgevangen door de beplanting. Volgens de VITO NV varieert de afvangst van PM 2.5 μm van 3 – 112 gram per boom per jaar.

Op basis van verschillende onderzoeken en waarden heb ik (Harrie Piggen) een tabel gemaakt waar de gemiddelde waarden instaan. Nogmaals de waarden zijn niet helemaal betrouwbaar maar wel richtinggevend. Zo filtert 10m2 naaldbos twee keer zoveel fijnstof uit de lucht dan 10m2 loofbos. In onderstaande figuur 6.42 is de tabel te zien.

De opname van stikstofdioxide (NO₂) uit de lucht door planten is zeer lastig vast te stellen omdat planten niet alleen stikstofdioxide (NO₂) opnemen via de huidmondjes maar ook via de bodem. De percentages waarin ze het opnemen zijn lastig vast te stellen.

Opname van fijnstof door depositie per type vegetatie per kg per jaar										
	Grasland	Loofbos(zomer)	Loofbos(winter)	Loofbosjaarrond	Naaldbos	Gewassen(ca. 2 m)	Struiken	mos*	sedum**	wilde wingerd ** (Partenocissus tricuspidata)
Aantal m2										
1	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,02	0,00	0,00
10	0,01	0,05	0,02	0,07	0,13	0,01	0,05	0,2		0,04
100	0,36	0,5	0,23	0,73	1,27	0,12	0,5	2	0,015	0,4
200	0,73	1	0,46	1,46	2,54	0,25	0,99	4	0,03	0,8
300	1,09	1,49	0,69	2,19	3,81	0,37	1,49	6	0,045	1,2
400	1,46	1,99	0,92	2,91	5,08	0,49	1,99	8	0,06	1,6
500	1,82	2,49	1,16	3,64	6,35	0,61	2,48	10	0,075	2
700	2,55	3,49	1,62	5,1	8,89	0,86	3,48	14	0,105	2,8
800	2,91	3,98	1,85	5,83	10,15	0,98	3,97	16	0,12	3,2
900	3,28	4,48	2,08	6,56	11,42	1,1	4,47	18	0,135	3,6
1000	3,64	4,98	2,31	7,28	12,69	1,22	4,97	20	0,15	4
1200	4,37	5,98	2,77	8,74	15,23	1,47	5,96	24	0,18	4,8
1500	5,46	7,47	3,47	10,93	19,04	1,84	7,45	30	0,225	6
2000	7,28	9,96	4,62	14,57	25,39	2,45	9,93	40	0,3	8
3000	10,93	14,94	6,96	21,85	38,08	3,67	14,9	60	0,45	12
5000	18,21	24,9	11,56	36,42	63,47	6,12	24,83	100	0,75	20
10000	36,42	49,81	23,12	72,85	126,93	12,25	49,67	200	1,5	40

bron: Alterra, Dhr.B. de Vries en Dhr. V. Kuypers en universiteit Bonn

Onderstaande is van bron: universiteit Bonn

1 m2 mos kan jaarlijks ongeveer 20 gram fijnstof "opeten". (universiteit Bonn)

Onderstaande is van bron Groen loont over maatschappelijke en economische baten van stedelijke groen

stadsboom rond de 20-25 jaar vangt 100 gram fijnstof per jaar af

gevelgroen 4 - 6 gram per jaar

volledig begroeide klimopmuur van 16 - 17 m2 heeft een verwijderingscapaciteit die gelijk is aan 1 gemiddelde stadsboom

wilde wingerd 4 gram per m2 per jaar

Volwassen beuk 1,3 kg fijnstof per jaar

* universiteit Bonn

** bron groen loont, over maatschappelijke en economische baten van stedelijke groen

Figuur 6.42 Tabel opname / afvang van fijnstof van de verschillende plantensoorten

Een rekenvoorbeeld:

Emissie door verkeer

"Bij een gemiddelde doorvoerweg met een normale doorvoer van 15.000 voertuigen stadsverkeer per dag (met 2 procent middelzwaar en 2 procent zwaar verkeer) en bij standaardemissiefactoren, komt er per kilometer weglengte per jaar 704 kg NO₂ direct vrij en wordt 33 procent van de NO_x direct omgezet in NO₂, in totaal 1618 kg NO₂.

Gedurende de 200 dagen van het groeiseizoen is dit $(1618 + 704) / 365 \times 200 = 1272$ NO₂ per kilometer weglengte per dag" (Geciteerd van Cornelissen. T, et al. 2012 p.28)

"Opnamecapaciteit door bomen en struiken

Bomen nemen onder ideale groeiomstandigheden tussen de 22 en 120 kg stikstof (N) per hectare op. Bij oudere bomen is dat 75 kg stikstof (N) per hectare per jaar. Per boom komt dat overeen met 12 g stikstof of 40 g stikstofdioxide per boom per jaar. Bij aanplant van bomen op een afstand van 15 meter staan er 67 bomen langs een weg van een kilometer en 134 bomen aan beide zijden van de weg. De NO₂-opname per km weglengte wordt dan 5.4 kg NO₂ per jaar, dit is 0.4% van de geschatte verkeersemmissie. De N-opname van goed groeiende heesters en coniferen varieert tussen de 5 en 9 gram N per struik per jaar en 17 tot 30 g NO₂ per struik per jaar. Bij aanplant van struiken op een onderlinge afstand van 3 meter aan beide zijden van de weg, bedraagt de jaarlijkse NO₂-opname 12 tot 20 kg per kilometer weglengte. Dit is 0.9 - 1.6% van de geschatte verkeersemmissie. De werkelijke opname zal na alle waarschijnlijkheid lager liggen omdat planten ook NO₂ uit de grond opnemen. Om de opname te vergoten is belangrijk dat uitgestoten NO₂ in de grond terecht komt." (Geciteerd van Cornelissen. T, et al. 2012 p.28)

Doordat groen vervuilende stoffen uit de lucht haalt, daalt het aantal gezondheidsklachten en dus ook het aantal ziekenhuisopnamen. Ook stijgt bij voldoende groen de sociale cohesie en daalt de criminaliteit waardoor er kosten worden bespaard. Groen is dus geld waard. Om het groen in een economische waarde uit te drukken is er per eenheid afgevangen vervuilende stof, een bedrag gekoppeld. De uitkomsten zijn te zien in figuur 6.43

Verwijderen van fijnstof door planten en de economische baten voor een knelpunt van luchtverontreiniging

Plantensoort	Verwijdering van fijnstof per jaar	Economische baat per jaar (euro)
Boom in de stad (20-25 jaar oud)	100 gram per boom	€ 40,00 per boom
Klimop (Hedera helix)	6 gram per m ²	€ 2,40 per m ²
Mos	14 gram per m ²	€ 5,60 per m ²
Sedumdak	0,15 gram per m ²	€ 0,04 per m ²
Wilde wingerd (Parthenocissus tricuspidata)	4 gram per m ²	€ 1,60 per m ²

Bron: Groen loont! Over maatschappelijke en economische baten van stedelijk groen

Figuur 6.43 Economische baten groen (bron: Bade.T, et al)

6.7 Beslisboom

Om het groen effectief toe te passen is veel kennis nodig. Om het toepassen te vergemakkelijken heb ik (Harrie Piggen) een aantal beslisbomen gemaakt. De beslisbomen zijn op straat en blok, buurt en wijk, stadsdeel en stad en buitengebiedniveau. Het buurt en wijkniveau is opgedeeld in verschillende beslisbomen te noemen, parkeerplaatsen, parken, wegen, gebouwen en pleinen. De beslisbomen dienen als hulpmiddel en kunnen gezien worden als een "checklist", keuzehulp en zijn richtinggevend. Dit neemt niet weg dat er altijd "logisch" moet worden nagedacht over het toepassen van groen. Gecombineerd met de kennis in dit rapport en de diverse bijlagen (o.a. over de juiste plantensoorten kunt u een goede groeninrichting maken)

In hoofdstuk 7 toepassingsvoorbeelden wordt er aan de hand van de verschillende beslisbomen gekeken hoe een bebouwde omgeving kan worden vergroend. De beslisbomen zijn te vinden in bijlage 5. De soortkeuze voor de beplanting is te vinden in bijlage 4

Voorbeeld van toepassen van de beslisboom

Het toepassingsvoorbeeld betreft de Hunenborgstraat in de wijk Presikhaaf in Arnhem. De straat heeft aan weerszijde parkeerplaatsen. Deze straat bevindt zich op straatniveau (haarvaten). Conform het bloedvatprincipe en de vier vragen die daar bij horen gaan we de straat "vergroenen"

Vraag 1: Welk effect willen we bereiken?

Het hoofddoel is het hitte eiland verminderen en het fijnstof en stikstofdioxide niveau.

Vraag 2: Welke schaalniveau(s) heeft u tot uw beschikking?

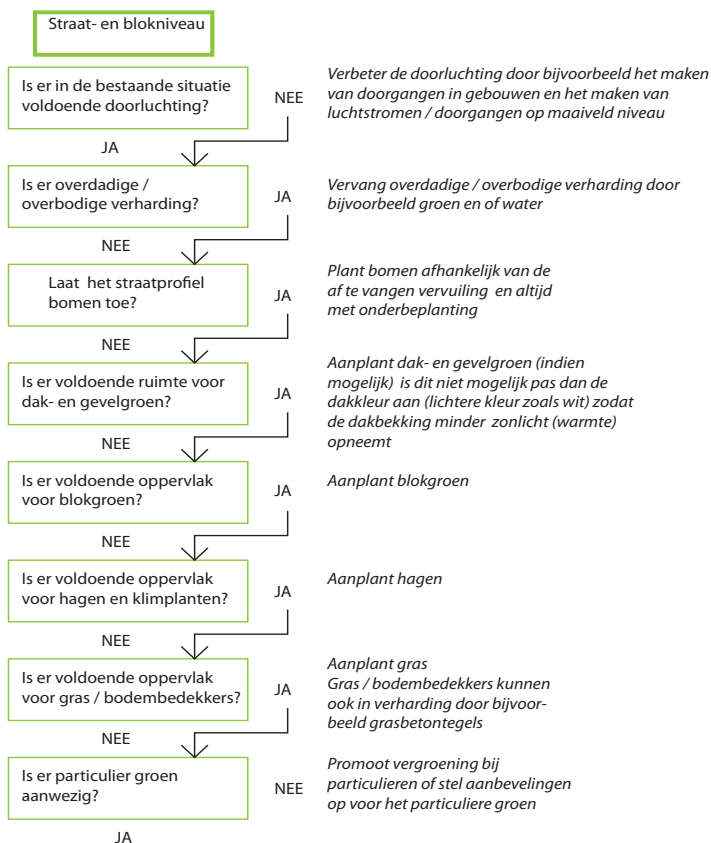
Het antwoord is alleen het straatniveau.

Vraag 3: Wat zijn de mogelijkheden binnen deze schaalniveaus?

Om deze vraag te kunnen beantwoorden maken we gebruik van de beslisbomen. De beslisboom die op deze situatie van toepassing is, is dus de beslisboom voor straat- en blokgroen. In de straat is de functie parkeren aanwezig daarom dienen we ook de beslisboom van parkeren te gebruiken.

Allereerst is het belangrijk om te kijken hoe de straat zich in de omgeving bevindt. Ook dient de gehele straat geïnspecteerd te worden. Daarom heeft het de voorkeur om de beslisboom ter plaatse af te lopen.

We beginnen met de eerste vraag. Zie beslisboom in figuur 6.44 Er is in de bestaande situatie redelijke doorluchting. De straat bevindt zich niet loodrecht op de heersende windrichting. Echter door de breedte van de straat kan de lucht voldoende



Figuur 6.44 Beslisboom straatniveau

mengen. In de straat staan ook jonge bomen (Ulmus) Deze bomen moeten nog volgroeien en daarmee kan de doorluchting onvoldoende worden. Een goede doorluchting is essentieel daarom is het raadzaam de luchtdoorlatendheid in de straat te verbeteren. Dit kan door bijvoorbeeld doorgangen in bestaande bebouwing te maken of door middel van ondergrondse lucht aan- en afvoer. Het is essentieel dat de wind op maaiveldniveau door de straat kan stromen waardoor de doorluchting optimaal is. Aangezien slopen geen optie is (zie vraag 4) dient er gekeken te worden om bestaande “luchtwegen” te verbeteren. Ook dienen de bomen niet te breed te worden zodat de doorluchting gewaarborgd blijft.

Er is wel overdadige verharding aanwezig. De parkeerplaatsen zouden vergroend kunnen worden en de rijweg zou ook verkleind kunnen worden. Conclusie de parkeervakken vergroenen en eventueel de rijweg verkleinen.

De volgende vraag kan beantwoord worden met ja. Het straatprofiel laat bomen toe. Deze zijn al aanwezig in de bestaande situatie maar het aantal bomen en het soort bomen zou veranderd kunnen worden voor betere afvang.



Figuur 6.45 De Hunenborgstraat



Figuur 6.46 Locatie Hunenborgstraat in de omgeving

Er is ruimte voor dak- en gevelgroen maar deze verandering moet van de bewoners komen. Het antwoord is dus ja maar naar alle waarschijnlijkheid zal het antwoord in de praktijk nee zijn.

Op de vraag of er voldoende ruimte is voor blokgroen kan met ja worden geantwoord. De aanwezige bomen staan al in plantvakken maar deze zouden vervangen kunnen worden voor (blok) hagen.

Op de volgende vraag of er voldoende ruimte is voor hagen en klimplanten is het antwoord nee. Natuurlijk zou het wel gerealiseerd kunnen worden maar door de vergroening die we al gaan doorvoeren, (groene parkeerplaatsen, extra bomen, overbodige verharding verwijderen) wordt het straatprofiel al dermate vergroend dat dit niet nodig is.

Op de vraag of er voldoende oppervlak is voor gras en bodembedekkers is het antwoord nee. Ook hier zouden eventueel kleine grasvakjes gemaakt kunnen worden, maar dit is dermate versnipperd en het effect is hiermee minimaal. Bovendien zijn deze stukjes arbeidsintensief om te beheren.

Er is in de bestaande situatie particulier groen aanwezig veelal in de vorm van klimop en wintergroene planten. Die vraag kunnen we dus met ja beantwoorden.

De conclusies zijn

- doorluchting verbeteren,
- parkeerplaatsen vergroenen,
- rijweg eventueel verkleinen,
- plaatsen en of vervangen van bomen,
- plaatsen blokhagen in de bestaande plantvakken.

Nu volgen we de beslisboom van parkeren. Zie figuur 6.47

Op de eerste vraag of de parkeerplaats overdadige / overbodige verharding bevat is het antwoord ja. De conclusie is om de stenen te vervangen door grasbetontegels o.i.d. zodat het geheel vergroend wordt.

De volgende vraag is of de auto's uit de zon staan. Het antwoord is nee. Aangezien er genoeg ruimte is voor bomen heeft het de voorkeur om bomen aan te planten.

Op de vraag of de parkeerplaatsen hagen aan de kopse kanten bevatten is het antwoord nee. Conclusie aanplanten van (blok)hagen

Op de laatste vraag of er voldoende lucht door de staat kan stromen is het antwoord ja. De conclusies

- doorluchting verbeteren
- parkeerplaatsen vergroenen,
- ervoor zorgen dat auto's in de schaduw komen te staan, plaatsen van bomen,
- blokhagen aan de kopse kant van de parkeervakken plaatsen.

De algehele conclusie

- parkeerplaatsen vergroenen d.m.v. grasstenen o.i.d.
- aanplanten bomen met onderbeplanting
- bestaande plantvakken vervangen door blokhagen
- rijweg eventueel verkleinen
- plaatsen en of vervangen van bomen
- auto's in de schaduw plaatsen

Zoals u misschien al is opgevallen is eigen inzicht en kennis belangrijk in het toepassen van groen. Dus onderbouwde keuzen maken.

Vraag 4: Welke middelen heeft u tot uw beschikking?

Wellicht de belangrijkste vraag van de vier. U kunt nog zoveel willen maar als er te weinig middelen ter beschikking zijn, dan kan het plan niet volledig worden uitgevoerd. Er van uitgaande dat het slopen van gebouwen en dakgroen geen optie is, kunnen we nu verder gaan met het kiezen van de juiste soorten.

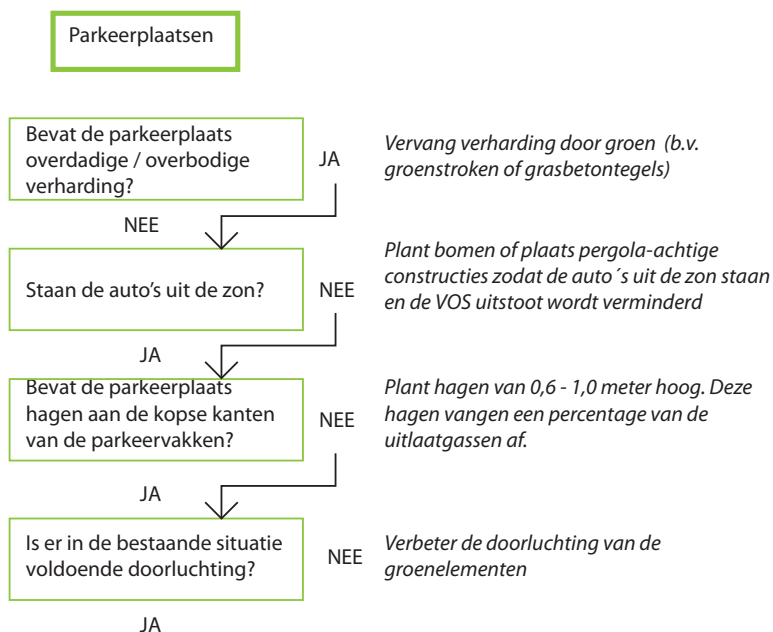
Nu we weten welke maatregelen er moeten worden genomen rest de vraag nog hoe en welke soorten we toe moeten passen. Om deze vraag te beantwoorden is de informatie uit hoofdstuk 6, toepassingsprincipes essentieel. Voor een kortere samenvatting heb ik (Harrie Piggen) richtlijnen gemaakt om de beplanting toe te passen. Deze zijn te vinden in bijlage 6. De combinatie van deze twee documenten geeft een goede basis voor toepassing van groen.

Door het kiezen van de geschikte soorten uit de beplantingslijst (bijlage 4) is hiermee de vraag hoe en welke soort we moeten toepassen beantwoord.

Met de fijnstof tabel (figuur 6.42) kunt u GLOBAAL berekenen wat het effect is / wordt van de maatregelen.

Opmerking

U moet niet altijd uitgaan van een bestaande situatie, dus van de bebouwde omgeving zoals deze nu is. Daar bedoel ik dan voornamelijk de positionering van de grijze elementen mee. (bebouwing, wegen etc.) Het blijkt dat juist deze vaak veranderd moeten worden om het groen effectief toe te kunnen passen. Het groen is dus geen opzichzelfstaand onderdeel maar een INTEGRAAL onderdeel van de bebouwde omgeving. Kijk dus kritisch naar de huidige bebouwde omgeving en trek hieruit uw conclusie(s).



Figuur 6.47 Beslisboom parkeerplaatsen

Bomen	
Groene tunnel effect:	Vergroot de poreusiteit door b.v. snoei of verwijder bomen
Breedte:	Maximaal één tot twee bomen breed
Poreusiteit:	Minimaal 40 %
Situering:	Bij voorkeur één of drie meter van de weg
Bladoppervlak:	Indien mogelijk van onder tot boven, aansluitend oppervlak zodat de vervuiling altijd in aanraking komt met de bladeren / naalden
Voor stikstofdioxide en andere gasvormige stoffen:	Deze stoffen wordt het meest via de huidmondjes door de bladeren opgenomen. Plantensoorten met platte en brede bladeren zijn hier het meest voor geschikt.
Fijnstof:	Deze stof wordt door naaldbomen het effectiefste verwijdering uit de lucht gevolgd door loofbomen (en andere plantensoorten) met ruwe behaarde bladeren.
Luchtstromen:	Voorkomen ernstige afname van luchtstromingen
Afstand:	Minimaal 15 meter. De bomen mogen in totaal maximaal 1/3 van de weg overlappen. Dus bij bomenlaan is dit 1/6 per boom!
Toepassing:	Met onderbegroeiing voor effectieve afvang van vervuiling (met name voor fijnstof).

Figuur 6.48 Richtlijnen aanplant van bomen

Hagen en blokgroen	
Hoogte	Minimaal 0,6 - 1,0 meter bij hogere lengten houd rekening met de doorluchting
Oppervlak:	Probeer langs de wegen / vervuiler een aaneengesloten lijnachtige structuur te plaatsen. Indien mogelijk meerder hagen achter elkaar op een afstand van 15 -20 x de hoogte (als de beplanting minimaal 40 % is)
Locatie:	Langs en of tussen wegen, als geleiding, kopse kanten parkeerplaatsen, op plaatsen waar geen plaats voor bomen is.
Poreusiteit:	Minimaal 40 %
Luchtstromen:	Voorkomen ernstige afname van luchtstromingen

Figuur 6.49 Richtlijnen aanplant (blok)hagen



Dat hoge bomen
veel wind vangen is niet erg,
wel echter dat die wind zo ondraaglijk stinkt.
--Jan Greshoff--

7 Voorbeelduitwerkingen

In dit hoofdstuk worden enkele trajecten in bebouwde omgeving nader uitgewerkt. De trajecten bevinden zich in de stad Arnhem. Het doel van dit hoofdstuk is om het inzicht en de vaardigheden in het toepassen van het groen door middel van de beslisbomen te vergroten. Na het lezen van dit hoofdstuk bent u in staat om een gehele bebouwde omgeving kritisch te beoordelen, mogelijke knelpunten te ontdekken, deze op te lossen / te verminderen en kunt u groene elementen onderbouwd inzetten.

De trajecten worden uitgewerkt door middel van het bloedvatprincipe, de vier vragen en de beslisbomen. Per situatie zal worden aangegeven wat gewenste maatregelen zijn.

Er zal worden aangetoond dat de beslisbomen richting geven in de aanplant van het groen maar dat logisch denken essentieel is. Immers niet alles is te "vangen" in één of meerdere beslisbomen.

7.1 Inventarisatie traject 1

In figuur 7.1 is het gehele traject te zien. Het eerste traject bestaat uit de Lauwersgracht (groen) Velperbuitensingel (paars), Parkstraat (rood), Kastanjelaan (oranje) en Spijkerlaan (blauw). Er is voor dit traject gekozen om de verbinding tussen een park en de buurt te toetsen en kritisch te leren kijken naar de opbouw van de bebouwde omgeving en het bestaande groen. Ook wordt er met dit traject aangetoond dat het onderwerp (straat, park etc.) altijd in een brede context / omgeving gezien moet worden. Dit komt overeen met wat het bloedvatprincipe zegt;,, als één of



Figuur 7.1 Het traject, (Bron: Google earth)

meerdere onderdelen niet naar behoren functioneren dan functioneert het gehele systeem niet of niet optimaal."

Allereerst gaan we het traject en de omgeving (context) bekijken zie figuur 7.2 Het is belangrijk dat je weet hoe de situatie is voordat de vier vragen beantwoord kunnen worden. (zie 6.5 ontwerpprincipes) De doorstroming van lucht en de continuïteit van groen is zeer belangrijk. De Lauwersgracht is een park / groenstrook (groene cirkel) die tussen de oude binnenstad en latere gebouwde bebouwing ligt. Het park / groenstrook begint ter hoogte van de Nederrijn (lichtblauw). De groenstrook bevindt zich aan weerszijden van de rijwegen ((Nijmeegseweg, blauwe cirkel)(de slagaders in het bloedvatprincipe))



Figuur 7.2 Het traject in zijn omgeving (Bron: Google earth)

Via het Airbornplein (blauw) komen we bij de Lauwersgracht (groen). De groenstrook gaat later over in het Velperplein (geel), de Jansbinnensingel (rood) en het Willemsplein (oranje). Na het Willemsplein verandert de groenstrook in een bomenrij zonder onderbegroeiing. Het valt op dat de groenstrook tussen de Lauwersgracht en Jansbinnensingel niet of in mindere mate aanwezig is. Bovendien wordt de luchtstroom gehinderd door een groot gebouw (Muis Sacrum)

De Parkstraat bevindt zich haaks op de Lauwersgracht en heeft aan weerszijden bebouwing. (street canyon) De straat kan worden gezien als een buurtontsluitingsweg (ader) mede doordat er tweerichtingsverkeer mogelijk is en de straat door de gehele buurt loopt. De Kastanjelaan en de Spijkerlaan bevinden zich haaks op de Parkstraat, zijn kleiner van opzet dan de Parkstraat en eenrichtingsverkeer. Ook deze straat loopt door de

gehele buurt. Door het eenrichtingsverkeer en de smallere opbouw is de straat (naar mijn mening) een haarvat, maar doordat de straat een belangrijke ontsluitende functie heeft zou het kunnen worden toegerekend tot de aders.

Bekijk altijd de context voordat u een conclusie trekt! De context verklaart veel problemen!

Vraag 1 Wat willen we bereiken?

In dit geval is er gekozen om de luchtdoorstroming in de straten te verbeteren, het percentage vervuilde stoffen te verminderen en foutief groen op te sporen en aan te passen.

Vraag 2 welke schaalniveau's heeft u tot uw beschikking?

Slagader (groenstrook), ader (Parkstraat), en ader / haarvat (Kastanjelaan en Spijkerstraat)

7.2 Beslisbomen

Vraag 3 wat zijn de mogelijkheden binnen deze schaalniveau's? Om deze vraag goed te kunnen beantwoorden worden de straten nader geanalyseerd met behulp van de beslisbomen.

7.2.1 De Lauwersgracht (slagader)

De aansluiting met de omgeving / buitengebied is goed. Er loopt immers een min of meer continue groenstrook van de Nederrijn naar de Lauwersgracht. Aan weerszijden van de Lauwersgracht bevinden zich rijwegen. De groenstrook zelf bestaat grotendeels uit oude bomen, gras, water, enkele struiken en wegen. Zie figuur 7.4 Om een onderbouwd oordeel te geven over de mogelijkheden van het park / groenstrook, pakken we de beslisboom park-groenstrook erbij. (te vinden in bijlage 5)



Figuur 7.3 Situering Lauwersgracht t.o.v. het traject



Figuur 7.4 De Lauwersgracht

Sluit het groen aan op het overige groen van de omgeving? NEE, dit kan verbeterd worden. Dit heeft er mede mee te maken dan er in de nabije omgeving geen of weinig groen is.

Is de luchtstroming met de omgeving optimaal?

JA, de luchtstroming in het park is goed. Als je door het park loopt dan voel je de wind (uiteraard niet bij windstil weer) Doordat er tussen het park en de Parkstraat een weg ligt kan de lucht ook goed in de Parkstraat stromen.

Bevat het park water? JA

Stroomt het water? NEE

Kan de kwaliteit van het water worden gegarandeerd? Dit zou nader moeten worden onderzocht.

Is er overdadige verharding? NEE. De verharding bestaat voornamelijk uit asfalt en doet dienst als fiets- en wandelpad.

Ligt de verharding in de schaduw? JA, of eigenlijk grotendeels. De bomen zorgen ervoor dat de verharding zich grotendeels in de schaduw bevindt.

Is de onderbegroeiing optimaal? NEE

Onderbegroeiing is niet of nauwelijks aanwezig. Ook zijn nagenoeg alle boomvormers opgekroond.

(zie figuur 7.5) Voor de luchtzuiverende werking is dit slecht. De vervuiling die vaak op maaiveldniveau ontstaat wordt niet optimaal gezuiverd. Conclusie: aanplant van onderbegroeiing.



Figuur 7.5 De Lauwersgracht heeft nagenoeg geen onderbegroeiing.

Bevindt de beplanting (bomen en onderbegroeiing) zich over het gehele park gezien (al dan niet verspreid) over de volle breedte ongeacht de windrichting? NEE. Er zijn "gaten" te ontdekken. Er kan namelijk door het gehele park gekeken worden. Dit betekent dat de vervuilde lucht niet altijd door de beplanting stroomt waardoor de afvang van vervuilde stoffen niet optimaal is.

Is de poreusiteit van de beplanting minimaal 40%? NEE. De poreusiteit is veelal minder dan 40 %. De poreusiteit kan verbeterd worden door bijvoorbeeld het dunnen van de beplanting. In het park staan veelal grote, oude bomen, deze zouden enigszins gedund kunnen worden.

Is het park recreatief aantrekkelijk? JA. In het park zijn vaak mensen aanwezig met uiteenlopende bezigheden. (zitten, vogels voeren, hardlopen, relaxen, fietsen etc.) Zie figuur 7.6



Figuur 7.6 Het park is recreatief aantrekkelijk

Conclusie

- aansluiting van het groen op de omgeving is slecht
- goede luchtdoorstroming
- geen overdadige verharding
- nauwelijks onderbegroeiing
- de beplanting bevindt zich niet over de gehele breedte verspreid ongeacht de windrichting
- poreusiteit van beplanting is over het algemeen minder dan 40 %
- het park is divers en daardoor voor veel mensen aantrekkelijk

Verder kunnen we concluderen dat het park grotendeels uit loofhout bestaat. Een veelvoorkomend soort is *Quercus robur*. Dit soort is een effectieve NOx, ozon en CO2 afvanger en in mindere mate een fijnstofafvanger (zie bijlage 4) Nadeel van dit soort is, dat als ze in grote groepen worden aangeplant, ze veel VOS uitstoten.

7.2.2 De Velperbuitensingel

Deze weg is gelegen langs de Lauwersgracht (oranjestreep op figuur 7.7) en kan gerekend worden tot hoofdontsluitingsweg.



Figuur 7.7 Situering Lauwersgracht t.o.v. het traject

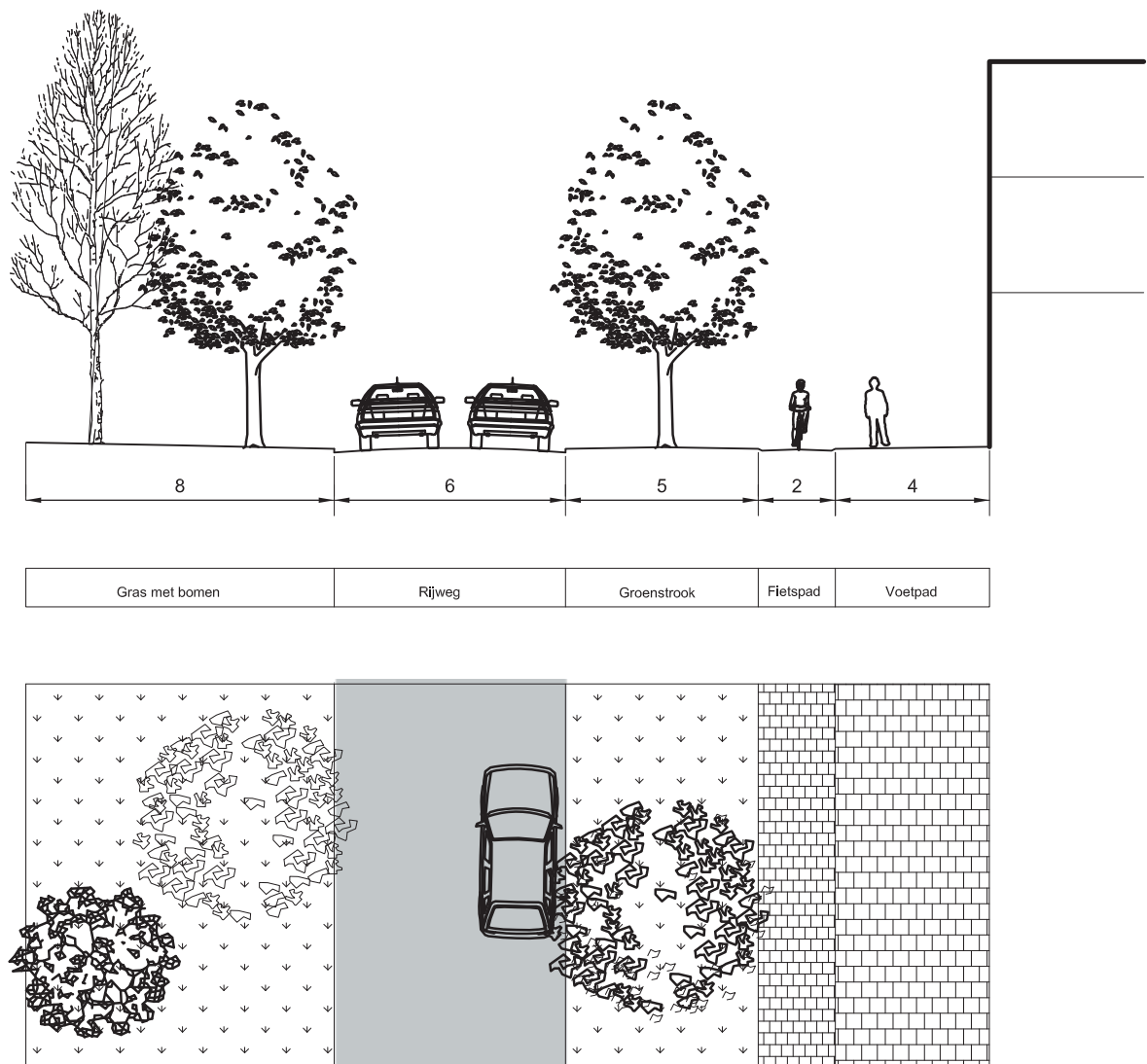
Het profiel van de weg is getekend in figuur 7.8 De boom in de groenstrook is een *Liriodendron tulipifera*. Dit soort is een effectieve NOx, ozon en CO2 opnemer en in mindere mate neemt deze PM10 op. Om tot een onderbouwd oordeel te komen volgen we de beslisboom wegen. (Zie bijlage 5)

Is de weg noodzakelijk? JA De weg is een belangrijke aan- en afvoerweg van en naar de stad.

Is het wegprofiel breder dan noodzakelijk? NEE, de rijweg is niet breder dan noodzakelijk. Het voetpad van 4 meter is te breed. Het zou versmald kunnen worden.

Kan het verkeer doorstromen? JA. Naar mijn oordeel zijn er wel veel stoppunten en stoplichten maar zijn deze dermate op elkaar afgestemd dat de auto's niet bij elk stoplicht moeten stoppen maar door kunnen rijden. (groene golf)

Is er voldoende plaats voor bomen met onderbegroeiing? JA, aan de linkerkant bevindt zich



Figuur 7.8 Profiel Velperbuitensingel

het park waar voldoende ruimte is. Aan de rechterkant (tegen de bebouwing) is geen plaats ook al doet het profiel het wel vermoeden. De groenstrook loopt namelijk nog enkele meters door en houdt daarna op.

Is er voldoende plaats voor dak- en gevelgroen?

JA er is wel plaats voor gevelgroen maar dit is niet gewenst in verband met de fraai uitzijnde bebouwing. Er zou eventueel wel dakgroen toegepast kunnen worden gepast.

Is er plaats voor hagen en klimplanten? NEE het profiel laat eigenlijk geen hagen en klimplanten toe.

De overgang van rijweg naar gras met bomen zou kunnen worden voorzien met bomen en onderbegroeiing. Dit is effectiever dan hagen en klimplanten (meer oppervlakte en dus meer afvang / opname)

Is er aansluiting met het lokale en stedelijke groen?

JA er is wel aansluiting. De weg zelf kent geen groen maar doordat langs de weg een groenstrook ligt compenseert dit groen het gebrek aan groen in het wegprofiel.

Conclusie:

- voetpad is breder dan noodzakelijk
- doorstroming verkeer is goed
- er is ruimte voor dakgroen
- gevelgroen niet gewenst in verband met de fraaie gevels

7.2.3 Parkstraat

De straat bevindt zich haaks op de Lauwersgracht. Zie figuur 7.9 de groene streep. De overgang van Lauwersgracht naar Parkstraat is abrupt. In het begin van de straat is geen groen te bekennen. Dit is trouwens niet altijd slecht. Zo krijgt de luchtstroming de ruimte om door de straat te stromen. Er is ook een nadeel. Het zonlicht kan



Figuur 7.9 Situering Parkstraat t.o.v. het traject

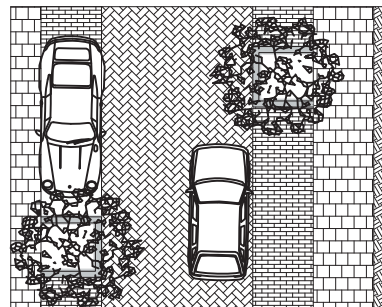
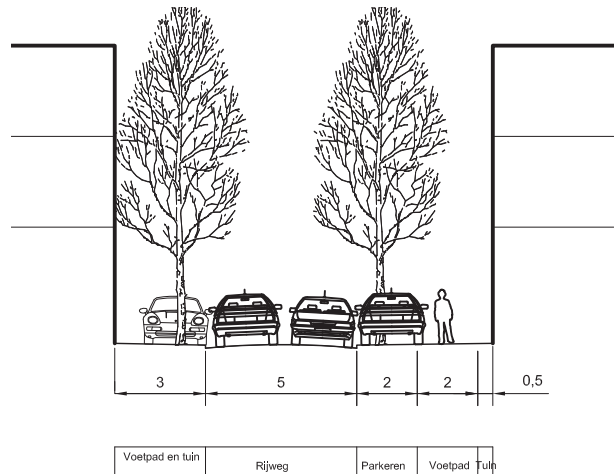
direct op de grond stralen waardoor het urban heat island effect wordt vergroot. Iets verder in de straat staan een tweetal platanen en een kastanje (zie figuur 7.10)



Figuur 7.10 In het begin van de Parkstraat is weinig groen te bekennen

De straat kent verschillende profielen. Er is gekozen om het profiel met de boomvormers (*Robinia pseudoacacia*) nader uit te werken. *Robinia pseudoacacia* is een goede allround vuilafvanger. De afvang van NO_x, ozon en CO₂ is zeer goed. De afvang van PM₁₀ is gemiddeld.

Wat opvalt is dat de bomen zijn gekandelaberd. Dit geeft eigenlijk al aan dat de bomen te groot zijn en daarmee niet geschikt voor deze locatie.



Figuur 7.11 Profiel van de Parkstraat

Voor een onderbouwde beoordeling nemen we de beslisboom op straat en blokniveau.

Is er in de bestaande situatie voldoende doorluchting? JA, maar het kan beter en dan met name in het tweede gedeelte van de straat (zie figuur 7.12) De bebouwing is 140 meter lang 100% dicht. Er is geen enkele noemenswaardige



Figuur 7.12 Bebouwing van 140 meter lang met geen enkele doorgang

doorgang, waardoor de kans op stilstaande lucht wordt vergroot. Stilstaande lucht betekent ophoping van vervuilingen waardoor het niveau van vervuiling toeneemt. Eigenlijk zijn de boomkronen te groot maar doordat ze geknot zijn en een poreusiteit van ten minste 40% hebben hinderen ze de luchtstroom minimaal. Omdat deze straat gelegen is aan een park / hoofdweg met goede doorluchting kan de lucht ook door de straat stromen. Het is merkbaar dat de luchtstroom aan het begin van de straat groter is dan aan het einde. Daarom zou het goed zijn om enkele doorgangen op maaiveldniveau te creëren.

Is er overdadige / overbodige verharding? JA, er is overbodige verharding. De parkeerplaatsen zouden vergroend kunnen worden door bijvoorbeeld het toepassen van grasbetontegels.

Laat het straatprofiel bomen toe? JA het straatprofiel laat bomen toe, mits voldoende zuilvormig. Dit komt de luchtdoorstroming ten goede. De groeiomstandigheden moeten wel optimaal zijn. In de bestaande situatie is dit niet het geval. Dit is te zien in figuur 7.13



Figuur 7.13 De groeiplaats is zeer slecht.

Is er ruimte voor dak- en gevelgroen? JA, er is ruimte maar de gebouwen zijn dermate fraai dat gevelgroen naar verwachting niet haalbaar is. Dakgroen zou indien de constructie het toelaat wel haalbaar zijn.

Is er voldoende oppervlak voor blokgroen? JA, in de plantvakken van de bomen is voldoende ruimte voor blokgroen.

Is er voldoende oppervlak voor hagen en klimplanten? JA, in de particuliere tuinen is ruimte voor hagen en klimplanten

Is er voldoende oppervlak voor gras en bodembedekkers? JA, in de particuliere tuinen is ruimte voor gras en bodembedekkers

Is er particulier groen aanwezig? Ja, er is particulier groen aanwezig maar dit zou verbeterd kunnen

worden met hagen, klimplanten gras en bodembedekkers.

Conclusies:

- plantvakken vergroten
- luchtstroming kan verbeterd worden
- parkeerplaatsen vergroenen
- blokgroen toepassen in plantvakken bomen
- particuliere tuinen vergroenen door middel van hagen, klimplanten, gras en bodembedekkers
- particulieren betrekken voor de vergroening

Een Beslisboom is een hulpmiddel maar uw eigen kennis en inzicht zijn minstens zo belangrijk!

7.2.4 Kastanjelaan

Deze laan bevindt zich haaks op de Parkstraat (blauwe streep op figuur 7.14) en zoals de naam al doet vermoeden zijn de bomen Aesculus hippocastanum ofwel kastanjes. Kastaniebomen kunnen wel 20-25 (30) meter hoog worden en ongeveer 15 – 20 meter breed. Het totale profiel is ongeveer 11 meter. Ook hebben kastaniebomen een gesloten kroon die weinig schaduw doorlaat. De boomsoort is dus wat ongelukkig gekozen.

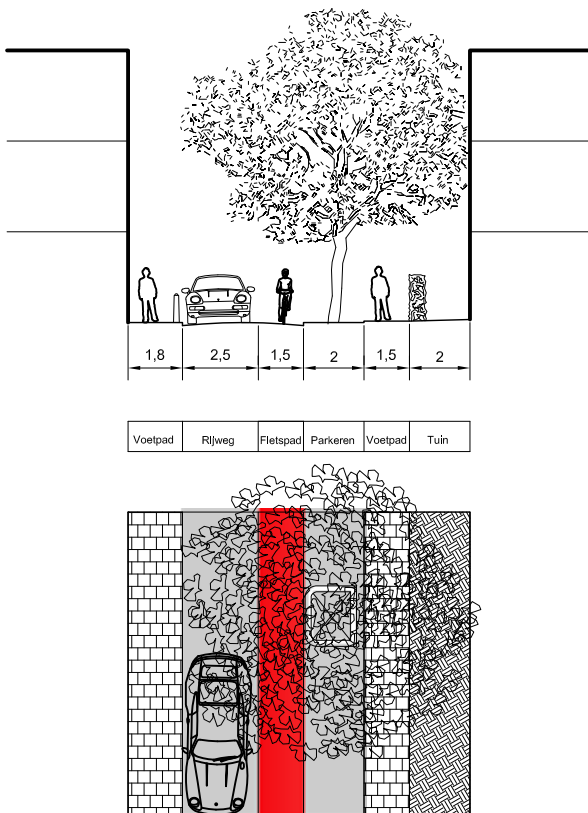


Figuur 7.14 Situering Kastanjelaan t.o.v. het traject

Dit is ook in het wegprofiel terug te zien. De bomen zijn dermate groot dat ze eigenlijk niet goed in het wegprofiel passen. Dit is te zien in figuur 7.15 Wel zijn kastaniebomen uitstekende NOx, ozon en CO2 afvangers en in mindere mate PM10 afvangers. In de Kastanjelaan is eenrichtingsverkeer van toepassing.



Figuur 7.15 De kastaniebomen zijn te groot voor het wegprofiel



Figuur 7.16 Profiel Kastanjelaan

Voor een onderbouwd oordeel pakken we de beslisboom voor straat en blokniveau erbij.

Is er in de bestaande situatie voldoende doorluchting? NEE, in de bestaande situatie is onvoldoende doorluchting. De bomen vullen nagenoeg het gehele profiel op. Ook zijn er niet of nauwelijks luchtgaten op maaiveldniveau aanwezig.



Figuur 7.17 Bomenmishandeling

Is er overdadige verharding? JA, er is overdadige verharding. De parkeerplaatsen kunnen vergroend worden.

Laat het straatprofiel bomen toe? JA, het straatprofiel laat bomen toe maar wel alleen smalle zuilvormige soorten. De plantplaatsen dienen wel vergroot te worden. (zie figuur 7.16) zoals de plantplaatsen er nu bij liggen is pure "bomenmishandeling."

Is er voldoende ruimte voor dak- en gevelgroen? JA, de ruimte is wel aanwezig maar door de fraaie gevels en gebouwen zullen de bewoners dit naar alle waarschijnlijkheid niet wenselijk vinden.

Is er voldoende ruimte voor blokgroen? JA op de locatie van boomvormers is ruimte voor blokgroen. Met de aanplant van dit blokgroen zal het aanzicht ook verbeteren.

Is er voldoende oppervlak voor hagen en klimplanten? JA, in de particuliere tuinen is ruimte voor hagen en klimplanten.

Is er voldoende oppervlak voor gras en bodembedekkers? JA, in de particuliere tuinen is ruimte voor gras en bodembedekkers.

Is er particulier groen aanwezig? JA, er is particulier groen aanwezig maar dit zou verbeterd kunnen worden met hagen, klimplanten, gras en bodembedekkers.

Conclusie:

- parkeerplaatsen vergroenen
- luchtstroming verbeteren
- kappen van de kastanjabomen, vervangen door zuilvormige bomen en indien dit nodig wordt bevonden het straatnaambordje veranderen
- blokgroen toepassen in plantvakken van de boomvormers
- particulier groen promoten

Probeer om rond de 40 meter een onderbreking / doorgang in de bebouwing te creëren om zo de windstroom niet te hinderen.

7.2.5 Spijkerlaan

De straat ligt in het verlengde van de Kastanjelaan (gele streep op figuur 7.18). Er is eenrichtingsverkeer van toepassing. In de straat staan enkele *Crataegus monogyna* (eenstijlige meidoorn) met onderbegroeiing met veelal klimop. Dit soort is een redelijke afvanger voor NO_x, ozon en CO₂ en in mindere mate voor PM₁₀. De straat kent verschillende profielen. Er is gekozen



Figuur 7.18 Situering Spijkerlaan t.o.v. het traject

om één profiel uit te werken. Het profiel is te zien in figuur 7.20. Om de straat te beoordelen is er gebruik gemaakt van de beslisboom straat blokniveau.

Is er in de bestaande situatie voldoende doorluchting? JA, op 50 meter van de kruising bevindt zich een straat (Driekoningendwarsstraat) haaks op de Spijkerlaan. Op 46 meter bevindt zich een andere straat (1e wijkstraat) haaks op de Spijkerlaan. De bomen belemmeren de windstroming ook niet nadelig. De doorluchting is dus voldoende.

Is er overdadige / overbodige verharding? JA, de parkeerplaatsen zouden vergroend kunnen worden.

Laat het straatprofiel bomen toe? JA, het straatprofiel laat bomen toe mits deze voldoende zuilvormig zijn. Het plantvak moet wel voldoende groot zijn. In de bestaande situatie is dit niet het geval.

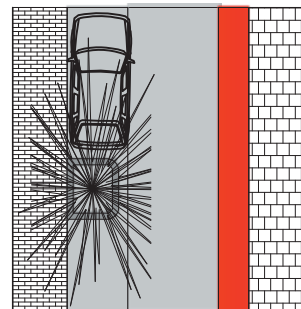
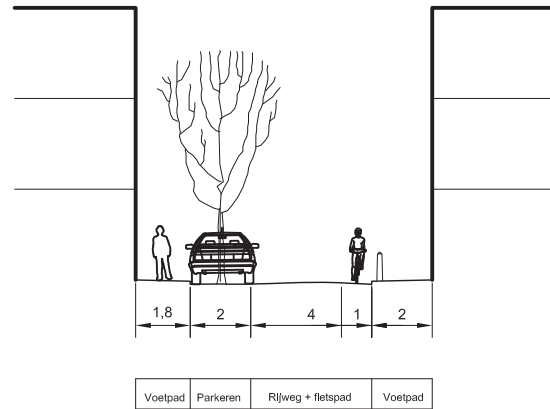
Is er voldoende ruimte voor dak- en gevelgroen? JA, er is ruimte voor dak- en gevelgroen. De bebouwing is divers en er zijn enkele plaatsen waar gevelgroen toegepast kan worden. (zie figuur 7.19) Op de daken kan, als de constructie dit toelaat, dakgroen worden toegepast.



Figuur 7.19 Mogelijke locaties voor gevelgroen

Is er voldoende ruimte voor blokgroen? JA er is enkel ruimte voor blokgroen op de locatie waar de boomvormers zich bevinden.

Is er voldoende plaats voor hagen en klimplanten? JA en NEE. Voor hagen is geen plaats maar voor



Figuur 7.20 Profiel Spijkerlaan

klimplanten wel. De klimplanten zouden in de boomvormers kunnen groeien. (zoals in de bestaande situatie al aanwezig is)

Is er voldoende oppervlak voor gras / bodembedekkers? NEE, er is niet voldoende plaats voor gras en bodembedekkers.

Is er particulier groen aanwezig? NEE er is geen particulier groen aanwezig. Aangezien er geen tuinen aanwezig zijn is het maximaal haalbare gevelgroen. Dit zou gepromoot kunnen worden bij bewoners.

Conclusie:

- parkeerplaatsen vergroenen
- vergroten plantvakken
- blokgroen toepassen in plantvakken boom
- gevelgroen waar mogelijk toepassen

Zorg ervoor dat de tuinen zich aan de wegkant bevinden en niet worden weggestopt achter de bebouwing!



Figuur 7.21 Zorg ervoor dat het groen zich aan de wegkant bevindt en niet weggestopt is achter bebouwing. Dit is een algemene opmerking en geldt niet voor het beschreven traject

7.3 Maatregelen

Vraag 4 Welke middelen heeft u tot uw beschikking?

Er van uitgaande dat de plantensoorten en de inrichting veranderd mogen worden ben ik tot de volgende voorstellen gekomen.

7.3.1 Lauwersgracht

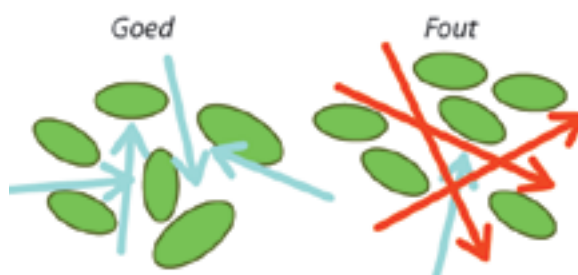
Conclusies beslisboom

- aansluiting groen op omgeving slecht
- goede luchtdoorstroming
- geen overdadige verharding
- nauwelijks onderbegroeiing
- de beplanting bevindt zich niet over de gehele breedte verspreid ongeacht de windrichting
- poreusiteit beplanting over het algemeen minder dan 40 %
- aantrekkelijk park

Verder kunnen we concluderen dat het park grotendeels uit loofhout bestaat. De soorten zijn Quercus robur deze soort is een effectieve NO_x, ozon en CO₂ afvanger en in minder mate een fijnstofafvanger (zie bijlage 4) Nadeel van dit soort is, dat als het in grote groepen wordt aangeplant, veel VOS uitstoot.

Maatregelen

In de bestaande situatie bestaat het park grotendeels uit loofhout. Deze zijn over het algemeen effectieve NO_x, ozon en CO₂ afvangers en in minder mate een fijnstofafvanger (zie bijlage 4) Fijnstof is wel degelijk een probleem in deze omgeving (veel gemotoriseerd verkeer) daarom is er gekozen voor de aanplant van zowel naaldbomen als "naalddruiken". Naalddruiken is effectief tegen fijnstof. De struiken en bomen dienen zo te worden aangeplant dat de lucht altijd door de beplanting heen kan stromen. Op basis van bijlage 4 zijn enkele soorten gekozen.



Figuur 7.22 Zorg er bij de aanplant van groen voor dat de lucht altijd beplanting tegenkomt en hier doorheen gaat.

Boomvormers

Picea abies
Picea omorika
Pinus sylvestris 'Watereri'
Pseudotsuga menziesii
Calocedrus decurrens (zuilvormig)

Struiken en bodembedekkers

Chamaecyparis obtusa
Chamaecyparis pisifera
Gaultheria shallon
Pinus mugo
Taxus baccata
Viburnum rhytidophyllum (goede allrounder)
Hedera spp klimmend (goede allrounder)
Ilex aquifolium
Rhododendron Catawbiense Groep
Rhododendron ponticum
Wisteria floribunda (goede allrounder)



Figuur 7.23 Calocedrus decurrens. (vdberk.nl)

Verder dient de poreusiteit van de beplanting minimal 40 % te zijn.

- aansluiting groen op omgeving verbeteren door de aanplant van Robinia pseudoacacia.

7.3.2 De Velperbuitensingel

Conclusies beslisboom

- voetpad is breder dan noodzakelijk
- doorstroming verkeer is goed
- er is ruimte voor dakgroen
- gevelgroen niet gewenst in verband met de fraaie gevels

Maatregelen

Bewoners stimuleren tot het toepassen van dakgroen. Het voetpad zou plaatsgewijs verkleind kunnen worden. De breedte van het voetpad varieert namelijk sterk door onder andere de trappen naar de woningen. Ook staan er lantaarnpalen in het voetpad. Om die redenen zou ik het voetpad zo laten als het is omdat de bestaande breedte bij nader inzien toch noodzakelijk is.

7.3.3 Parkstraat

Conclusies beslisboom

- plantvakken vergroten
- luchtstroming kan verbeterd worden
- parkeerplaatsen vergroenen
- blokgroen toepassen in plantvakken bomen
- particuliere tuinen vergroenen door middel van hagen, klimplanten, gras en bodembekkers

Maatregelen

De keuze om wel of geen bomen te plaatsen is lastig. Geen bomen betekent een goede luchtstroming maar wel de volle zon op de auto's wat voor een hoge VOS uitstoot zorgt. Verder zorgt het zonlicht voor extra warme (urban heat island) waardoor het leefklimaat verslechterd. Daarom is er gekozen om de boomvormers te behouden. De luchtstroom moet eigenlijk verbeterd worden door het toepassen van al dan niet onder of bovengrondse luchtvoorzieningen (gebaseerd op het luchtverversingssysteem binnenshuis en beschreven in § 6.4.1 en figuur 6.20)

- *Robinia pseudoacacia* behouden maar de plantvakken wel groter maken
- *Hedera* spp klimmend, laten groeien in de *Robinia pseudoacacia*
- Vergroenen van de plantvakken en parkeervakken met een allround afvangende beplanting zoals *Ilex aquifolium*, *Viburnum rhytidophyllum*
- parkeerplaatsen vergroenen
- aansporen om particulier groen te promoten
- luchttoevoer creëren

7.3.4 Kastanjelaan

Conclusie beslisboom

- parkeerplaatsen vergroenen
- luchtstroming verbeteren
- kappen van de kastanjabomen, vervangen voor zuilvormige bomen en indien dit nodig wordt bevonden het straatnaambordje veranderen.

- blokgroen toepassen in plantvakken van de boomvormers
- particulier groen promoten

Maatregelen

De kastanjes zijn te groot en dienen verwijderd te worden. De boom heeft ook een belangrijke schaduwfunctie om de auto's uit de zon te houden en zo de uitstoot van VOS te verminderen en het leefklimaat te verbeteren. Daarom is er gekozen om een kleine allround afvangende boom terug te plaatsen

- kappen van de kastanjabomen
- plaatsen kleinere boomsoort zoals *Gleditsia triacanthos* "Imperial" (10 – 12 meter)
- plantvakken voor de bomen vergroten
- blokgroen in de hagen plaatsen (*Ilex aquifolium*, *Gaultheria shallon*, *Fagus sylvatica*)
- particulier groen promoten

De luchtstroom moet eigenlijk verbeterd worden door het toepassen van al dan niet onder- of bovengrondse luchtvoorzieningen (gebaseerd op luchtverversingssysteem binnenshuis en beschreven in 6.4.1)



Figuur 7.24 *Gleditsia triacanthos* 'Imperial' (vdberk.nl)

7.3.5 Spijkerlaan

Conclusie beslisboom

- parkeerplaatsen vergroenen
- vergroten plantvakken
- blokgroen toepassen in plantvakken boom
- gevelgroen waar mogelijk toepassen

Maatregelen

- *Crataegus monogyna* snoeien of vervangen door *Gleditsia triacanthos* 'Imperial' (10 - 12 meter) voor meer eenheid met de Kastanjelaan
- plantvakken vergroten

- klimop uit de kruin verwijderen maar niet van de stam (klimop is een goede fijnstof afvanger)
- blokgroen plaatsen in plantvakken boom
- gevelgroen toepassen waar mogelijk

7.3.6 Kruisingen

Voor de kruisingen zijn een aantal maatregelen van belang.

Zorg voor een goede aansluiting op de straten waarbij het essentieel is dat de luchtstroming niet nadelig wordt beïnvloed.

Tot slot nog een vijftal wijze spreken.

Beslisboom is noodzakelijk om aan anderen het probleem uit te leggen en te onderbouwen.

Voor kleinere parken en pleinen geldt dat het beïnvloedde gebied tussen twee en vier maal de breedte van het park is.

Tussen dromen en werkelijkheid liggen praktische bezwaren

Groen aanplant niet alleen voor luchtkwaliteit maar ook voor houtproductie

Door een ballon, een veertje of iets dergelijks op straat te leggen krijgt u inzicht in de luchtstromen en de invloed van voertuigen op luchtstromen

Deze conclusie is het einde van dit rapport maar misschien wel het begin van een nieuwe gedachtegang.....

--Harrie Piggen--

8 Conclusies en aanbevelingen

Terugkoppeling, doelstelling en hoofdvraag

Het doel van dit rapport is om richtlijnen / beslisbomen te formuleren om groen effectief in te zetten voor de luchtzuivering. Het kan dienen als handleiding en vernieuwde kijk op het verbeteren van de luchtkwaliteit door het inzetten van groen.

De hoofdvraag die in het begin van het rapport is gesteld luidt:

Op welke wijze kan groen bijdragen aan een betere luchtkwaliteit in de bebouwde omgeving?

Door de verschillende deelvragen te beantwoorden is veel informatie verzameld. Het doel van dit rapport is om richtlijnen / beslisbomen te formuleren om groen effectief in te zetten voor de luchtzuivering. Het kan dienen als handleiding en vernieuwde kijk op het verbeteren van de luchtkwaliteit door het inzetten van groen. Doordat het gehele traject wordt beschreven is dit onderzoek begrijpelijk, duidelijk en vernieuwend.

De belangrijkste conclusies en aanbevelingen zullen in dit hoofdstuk worden beschreven.

8.1 Conclusies

Naar aanleiding van het onderzoek volgen hier per onderdeel de belangrijkste conclusies.

Lucht

- De lucht bestaat uit langzaam en snel variërende stoffen.

- De stoffen die voor vervuiling zorgen zijn, koolstofdioxide, methaan, radon, distikstofmonoxide, stikstofoxiden, ozon, pollen, bacteriën en zwaveldioxide.

- Smog kan door vier verschillende stoffen ontstaan te noemen ozon, fijnstof, stikstofdioxide en zwaveldioxide. Smog ontstaat door een combinatie van natuurlijke processen of door stoffen die in het milieu terechtkomen door de mens. Onder invloed van weersomstandigheden ontstaat er een chemische omzetting waardoor er smog ontstaat.

- De vervuilende stoffen komen door de natuur of menselijk handelen in de lucht terecht. Er kan onderscheid gemaakt worden in stoffen die direct en indirect afgevangen kunnen worden. Vuiluitstoting kan d.m.v. adem, voertuigen en machines, schoorsteen, kunstmest, landbouw,

zware industrie, huishoudens en vuilverwerking enz.

Regels en wetten

- In de (Nederlandse) wet milieubeheer staan alle milieuregels beschreven. Deze wet is gebaseerd op alle voor Nederland geldende internationale en Europese regels.

Stedelijke effecten

- In steden is vaak sprake van warmte eilanden. Dit betekent dat de bebouwde omgeving warmer is dan de omgeving (buitengebied). Dit effect wordt vergroot als er veel harde materialen (verhardingen, dakleer etc.) aanwezig zijn + de kleur van de materialen.

- Water heeft als eigenschap dat de temperatuur gedurende de dag redelijk constant blijft. Dit maakt water interessant om toe te passen in de bebouwde omgeving.

- Doordat iedere wijk in een bepaalde tijd is gebouwd met de ideeën van toen, ontstaat er vaak geen eenheid in de stad, waardoor zaken als doorluchting en een duidelijke groenstructuur vaak onvoldoende zijn.

Eigenschappen / toepassen van groen

- Groen heeft naast zuiverende eigenschappen ook diverse andere eigenschappen zoals verkoeling, bevochtiging, geleiding, recreatieve functie, visuele-, financiële- en emotionele waarde. Al deze eigenschappen maken groen onmisbaar in de bebouwde omgeving en daarbuiten.

- Groen kan vervuiling opnemen door middel van huidmondjes, de waslaag op de bladeren en door afzetting op plantendelen.

- Groen kan de volgende stoffen afvangen / opnemen, koolstofdioxide (CO₂), zwaveldioxide (SO₂), stikstofoxiden (NO_x), stikstofdioxide (NO₂), ozon (O₃), ammoniak (NH₃) en fijnstof (o.a. PM₁₀, 5, 2.5 en 1µm)

- Er zijn drie fijnstofniveaus te noemen de landelijke concentratie, stedelijke concentratie en de lokale concentratie. Groen kan op alle drie de niveaus worden ingezet om de luchtkwaliteit te verbeteren.

- Ieder soort groen heeft andere eigenschappen wat ervoor zorgt dat niet elk soort alle vervuiling af kan vangen. Er dient dus een mix van soorten gemaakt

te worden om alle vervuiling af te kunnen vangen.

- Alle plantensoorten nemen koolstofdioxide op. Planten met naalden nemen effectief fijnstof op en plantensoorten met bladeren nemen effectief stikstofoxiden en ozon op.
- Wintergroene soorten vangen het hele jaar vuil af, terwijl bladverliezende soorten alleen tijdens het groeiseizoen vuil afvangen.
- Dichte beplanting is vele malen minder effectief, dan beplanting die minimaal 40 % poreus is omdat de lucht dan door de beplanting heen gaat in plaats van erover, waardoor het contactoppervlak wordt vergroot en daarmee ook de afvang. Om die reden krijgen lijnelementen de voorkeur om toe te passen in de bebouwde omgeving en daarbuiten.
- Doorluchting in de bebouwde omgeving is essentieel. Door luchtstromen op maaiveldniveau te creëren worden vervuilende stoffen optimaal vermengd en afgevoerd / gezuiverd.
- Bomen hebben verhoudingsgewijs een grote afvang omdat zij een groot oppervlak hebben. Er moet worden voorkomen dat lucht stil komt te staan en dat de bomen een gesloten kroon vormen boven de rijweg / vervuilende bron. Als dit wel het geval is dan kan groen de luchtkwaliteit zelfs verergeren in plaats van verbeteren!
- Dak- en gevelgroen is een waardige vervanger voor bomenvormers.
- Met behulp van het bloedvatprincipe en de beslisbomen kan er onderbouwd worden wat en hoe het groen moet worden toegepast.

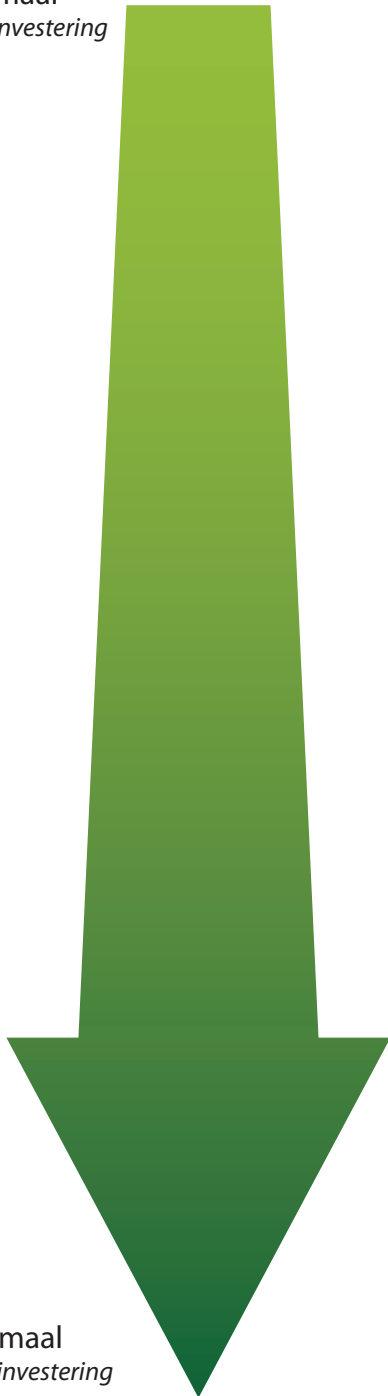
Voorbeelduitwerkingen

- Wat opvalt is dat groen niet gelijk verdeeld is over een bebouwde omgeving.
- Groen is vaak verkeerd toegepast en kan daardoor de luchtkwaliteit verslechteren zoals te grote bomen in een straat, te kleine plantvakken, slechte groeiplaatsomstandigheden, te weinig blokhagen en andere onderbegroeiing.

8.2 Aanbevelingen

- Mensen bewust maken van luchtkwaliteit en hoe zij hier invloed op kunnen uitoefenen. Tijdens dit onderzoek heb ik gemerkt dat de kennis bij mensen over luchtkwaliteit in zijn algemeenheid slecht is. Men weet niet veel over luchtkwaliteit, vervuilende stoffen maar is hier wel in geïnteresseerd.
- De inrichters van de openbare ruimte bewust maken en kennis geven over het toepassen van groen voor luchtkwaliteit. Zij moeten groen inzetten op basis van functionaliteit en niet op basis van wat "mooi" is. (bijkomend voordeel is dat je groen op die manier een duidelijke maatschappelijke meerwaarde geeft)
- Ook architecten, gemeenten en mensen zonder groene kennis moeten inzien dat het luchtkwaliteitsprobleem integraal moet worden aangepakt. Dus gebouw voorzien van "windgangen" Er voor zorgen dat windstromen minimaal worden onderbroken, het percentage verharde materialen zo laag mogelijk houden, zoveel mogelijk toepassen van dak- en gevelgroen bij gebouwen en water(gangen) aanbrengen in stedelijke omgeving.
- Zorg voor een integraal projectteam bij het realiseren / herstructureren van de bebouwde omgeving en laat indien nodig een onafhankelijk persoon het plan beoordelen. Dus niet het eigen belang van een afdeling maar het groeps- en maatschappelijk belang als uitgangspunt nemen.
- Al het groen draagt bij aan een verbetering van de luchtkwaliteit. (mits goed toegepast) Vergroen daarom overdadige en overbodige verharding. In figuur 8.1 is een weergave gegeven van minimale maatregelen met een lage investering naar maximale maatregelen met een hoge investering.

Minimaal
Lage investering



Maximaal
Hoge investering

Maatregelen

- *particulier groen promoten*
- *snoeien beplanting (vergroten poreusiteit)*
- *beplanting die de luchtstroming nadelig beïnvloedt verwijderen*
- *aanplant van naald- en loofhout in bestaande groenstroken / parken etc.*
- *aanbrengen gevelgroen, kan goedkoop door bijvoorbeeld klimop o.i.d. tegen een muur aan te laten groeien.*
- *beplanting die ongeschikt is voor de bestaande standplaats verwijderen (b.v. te groot)*
- *overdadige en overbodige verharding vervangen voor groen*
- *dak- en gevelgroen promoten bij bewoners*
- *zorgen voor een duidelijke groenstructuur*
- *bestaande groenelementen vergroten / verbeteren*
- *hagen aanplanten langs wegen*
- *de juiste beplanting op de juiste plaats*
- *luchtstromen verbeteren*
- *aanleg lijnelementen*
- *straatprofielen optimaal aanpassen voor luchtzuivering*
- *aanleg groenstroken*
- *aanleg watergangen*
- *aanleg doorgangen*
- *aanleg groenstroken / parken, bossen etc.*
- *aanleg van groen / blauwe banen door stad*

Figuur 8.1 Minimale en maximale maatregelen voor toepassen groen

Literatuurlijst

Hoofdstuk 1

Pbl (2013) Veelgestelde vragen over fijnstof
http://www.pbl.nl/nl/dossiers/fijn-stof/veelgestelde_vragen/
Geraadpleegd op 30 januari 2013

Hoofdstuk 2

ECN, (2013) De stikstofcyclus
<http://www.ecn.nl/nl/units/bkm/milieuonderzoek/luchtkwaliteit-en-klimaatverandering/integrale-stikstof/de-stikstofcyclus/>
Geraadpleegd op 31-01-2013

Lenntech, (2013) Chemische Samenstelling van Lucht
<http://www.lenntech.nl/lucht-samenstelling.htm>
Geraadpleegd op 30-01-2013

Lenntech, (2013a) Stikstof - N
<http://www.lenntech.nl/periodiek/elementen/n.htm>
Geraadpleegd op 30-01-2013

Lenntech (2013b) Zuurstof - O
<http://www.lenntech.nl/periodiek/elementen/o.htm>
Geraadpleegd op 31-01-2013

Lenntech (2013c) Argon - Ar
<http://www.lenntech.nl/periodiek/elementen/ar.htm>
Geraadpleegd op 31-01-2013

Wikipedia, (2013), Stikstof element
http://nl.wikipedia.org/wiki/Stikstof_%28element%29
Geraadpleegd op 31-01-2013

Wikipedia, (2013c)
<http://nl.wikipedia.org/wiki/Edelgas>
Geraadpleegd op 31-01-2013

Wikipedia, (2013j) Zuurstof (element)
http://nl.wikipedia.org/wiki/Zuurstof_%28element%29
Geraadpleegd op 31-01-2013

Hoofdstuk 3

Boomblad (2013) Lucht bevat grote diversiteit aan bacteriën
<http://www.boomblad.nl/index.php?id=118>
Geraadpleegd op 23-02-2013

ccohs (2013) Sulfer Dioxide
http://www.ccohs.ca/oshanswers/chemicals/chem_profiles/sulfurdi/health_sul.html
Geraadpleegd op 08-02-2013

Falw (2013) Moeras en broeikas
<http://www.falw.vu/~huik/moeras.html>
Geraadpleegd op 29-01-2013

Hooikoorts (2013) Symptomen van hooikoorts
http://www.hooikoorts.tv/over_hooikoorts/wanneer_hooikoorts/
Geraadpleegd op 25-02-2013

KNMI (2013) Broeikasgas methaan
http://www.knmi.nl/cms/content/21564/broeikasgas_methaan
Geraadpleegd op 29-01-2013

KNMI (2013a) Methaan nader verklaard
<http://www.knmi.nl/cms/content/35789/methaan>
Geraadpleegd op 29-01-2013

KNMI (2013b) Troposfeer
<http://www.knmi.nl/cms/content/38758/troposfeer>
Geraadpleegd op 29-01-2013

Lenntech (2013d) Waterstof
<http://www.lenntech.nl/periodiek/elementen/h.htm>
Geraadpleegd op 29-01-2013

Medisch milieukundigen, (2013) Koolstofdioxide (CO2)
<http://www.mmk.be/vrij.cfm?id=341>
Geraadpleegd op 22 januari 2013

Milieucentraal (2013) Radongas en thoron in huis
<http://www.milieucentraal.nl/thema%27s/thema-1/klimaat-en-milieu-problemen/gezondheid-en-milieu/radongas-en-thoron-in-huis/>
Geraadpleegd op 06-02-2013

Milieuhelp (2013) Fijnstof PM10
http://www.milieuhelp.nl/wiki/index.php/Fijn_stof_%28PM10%29
Geraadpleegd op 22-02-2013

MKK (2013) Vluchtige Organische stoffen (VOS)
<http://www.mmk.be/afbeeldingen/File/FicheVOS.pdf>
Geraadpleegd op 22-02-2013

RIVM (2013) Smog gezondheidseffecten
<http://www.rivm.nl/Onderwerpen/Onderwerpen/S/Smog/Gezondheidseffecten>
Geraadpleegd op 22-02-2013

RIVM (2013a) Smog hoe ontstaat smog?
http://www.rivm.nl/Onderwerpen/Onderwerpen/S/Smog/Hoe_ontstaat_smog
Geraadpleegd op 22-02-2013

Wikipedia (2013a) Koolstofdioxide
<http://nl.wikipedia.org/wiki/Koolstofdioxide>
Geraadpleegd op 28-01-2013

Wikipedia (2013b) Distikstofmonoxide
<http://nl.wikipedia.org/wiki/Distikstofmonoxide>
Geraadpleegd op 07-02-2013

Wikipedia (2013c) Stikstofoxiden (de diverse links / verwijzingen)
<http://nl.wikipedia.org/wiki/Stikstofoxiden>
Geraadpleegd op 10-02-2013

Wikipedia (2013d) Ozon (stof)
http://nl.wikipedia.org/wiki/Ozon_%28stof%29
Geraadpleegd op 22-01-2013

Wikipedia (2013e) Zwaveldioxide
<http://nl.wikipedia.org/wiki/Zwaveldioxide>
Geraadpleegd op 23-01-2013

Wikipedia (2013f) Zwavelzuur
<http://nl.wikipedia.org/wiki/Zwavelzuur>
Geraadpleegd op 23-01-2013

Wikipedia (2013g) Sodium chloride
http://en.wikipedia.org/wiki/Sodium_chloride
Geraadpleegd op 20-01-2013

Wikipedia (2013h) Methaan
<https://nl.wikipedia.org/wiki/Methaan>
Geraadpleegd op 29-01-2013

Wikipedia (2013i) Zoutzuur
<http://nl.wikipedia.org/wiki/Zoutzuur>
Geraadpleegd op 29-01-2013

Hoofdstuk 4 + Bijlage 2 Internationale en Europese luchtkwaliteitsregels

Compendium voor de leefomgeving (2013) Nationale luchtkwaliteit: overzicht normen
<http://www.compendiumvoordeleefomgeving.nl/indicatoren/nl0237-Nationale-luchtkwaliteit%3A-overzicht-normen.html?i=14-65>
Geraadpleegd op 16-02-2013

Compendium voor de leefomgeving (2013a) Fijnstof in de lucht, aantal dagen met een daggemiddelde boven 50 µg/m³, 1992-2012
<http://www.compendiumvoordeleefomgeving.nl/indicatoren/nl0243-Fijnstofconcentratie%2C-daggemiddelde.html?i=14-66>
Geraadpleegd op 16-02-2013

Compendium voor de leefomgeving (2013b) Fijnstof in de lucht, jaargemiddelde
<http://www.compendiumvoordeleefomgeving.nl/indicatoren/nl0241-Fijnstofconcentratie%2C-jaargemiddelde.html?i=14-66>
Geraadpleegd op 16-02-2013

Compendium voor de leefomgeving (2013b) Concentraties van de fijnere fractie van fijn stof (PM_{2.5}), 2009-2011
<http://www.compendiumvoordeleefomgeving.nl/indicatoren/nl0532-PM-2.5.html?i=14-66>
Geraadpleegd op 16-02-2013

Compendium voor de leefomgeving (2013c) Stikstofdioxide in lucht, 1990-2011
<http://www.compendiumvoordeleefomgeving.nl/indicatoren/nl0231-Stikstofdioxideconcentratie.html?i=14-66>
Geraadpleegd op 28-03-2013

Compendium voor de leefomgeving (2013d) Stikstofoxiden in lucht 1990-2011
<http://www.compendiumvoordeleefomgeving.nl/indicatoren/nl0493-Stikstofoxidenconcentratie.html?i=14-66>
Geraadpleegd op 28-03-2013

Compendium voor de leefomgeving (2013e) Ozon in lucht en volksgezondheid, 1990-2011
<http://www.compendiumvoordeleefomgeving.nl/indicatoren/nl0238-Ozonconcentraties-en-volksgezondheid.html?i=14-66>
Geraadpleegd op 28-03-2013

Compendium voor de leefomgeving (2013f) Ammoniak in lucht, 1993-2011
<http://www.compendiumvoordeleefomgeving.nl/indicatoren/nl0461-Ammoniakconcentratie.html?i=14-66>
Geraadpleegd op 28-03-2013

Compendium voor de leefomgeving (2013g) Relatie ontwikkelingen emissie en luchtkwaliteit
<http://www.compendiumvoordeleefomgeving.nl/indicatoren/nl0081-Relatie-ontwikkelingen-emissies-en-milieukwaliteit.html?i=5-70>
Geraadpleegd op: 28-03-2013

ecolpg(2013) CO₂ uitstoot
<http://www.ecolpg.nl/nl/rijden-op-autogas/co2-uitstoot>
Geraadpleegd op 20-03-2013

Eerste kamer (2013) Staten-Generaal 1999 - 2000 CTRTAP
http://www.eerstekamer.nl/brief/20000317/protocol_bij_het_verdrag_van_1979_2
Geraadpleegd op 18-02-2013

EU milieubeleid (2013) 13.5.9 Verdrag inzage persistente organische verontreinigende stoffen (POP's) (Verdrag van Stockholm)
<http://www.eu-milieubeleid.nl/ch14s06.html>
Geraadpleegd op 18-02-2013

EU milieubeleid (2013a) 13.5.2 Verdrag inzake milieu-effectrapportage in grensoverschrijdend verband (Espoo-Verdrag)
<http://www.eu-milieubeleid.nl/ch14s06.html>

Geraadpleegd op 18-02-2013

EU milieubeleid (2013b) 13.2.2 Verdrag ter bescherming van de ozonlaag (Verdrag van Wenen)
<http://www.eu-milieubeleid.nl/ch14s03.html>
Geraadpleegd op 17-02-2013

Eur-lex (2013) Thematische strategie inzake luchtverontreiniging mededeling van de commissie aan de raad en het Europees parlement thematische strategie inzake luchtverontreiniging {SEC(2005) 1132}
Geraadpleegd op 17-02-2013

Europa decentraal, (2013) Luchtkwaliteit
<http://www.europadecentraal.nl/onderwerpen/klimaat-energie-en-duurzaamheid/lucht/luchtkwaliteit/>
Geraadpleegd op 16-02-2013

How does the IPCC work?
http://www.ipcc.ch/organization/organization_structure.shtml
Geraadpleegd op 20-02-2013

Infomill (2013) Plafonds voor 2020
<http://www.infomil.nl/onderwerpen/klimaat-lucht/stoffen/nec-stoffen/#Plafondsvoor2020>
Geraadpleegd op 16-02-2013

IPCC (2013) Organization
<http://www.ipcc.ch/organization/organization.shtml>
Geraadpleegd op 20-02-2013

Merckmanual (2013) Uitwisseling van zuurstof en kooldioxide
<http://www.merckmanual.nl/mmhen/sec04/ch038/ch038d.html>
Geraadpleegd op 20-03-2013

Milieucentraal, (2013)
<http://www.milieucentraal.nl/themas/klimaat-en-milieuproblemen/klimaatverandering/klimaatcompensatie/bereken-uw-co2-uitstoot>
Geraadpleegd op 20-02-2013

Overheid (2013) Wet milieubeheer
http://wetten.overheid.nl/BWBR0003245/tekst_bevat_luchtkwaliteit-seisen/geldigheidsdatum_08-06-2013
Geraadpleegd op 16-02-2013

RIVM (2013) Luchtkwaliteitsnormen
<http://www.rivm.nl/lvs/Normen/Milieu/Luchtkwaliteitsnormen>
Geraadpleegd op: 16-02-2013

Rijksoverheid (2013) Diverse sites over maatregelen tegen luchtvervuiling
www.rijksoverheid.nl
Geraadpleegd op 28-03-2013

UNECE (2013) Air pollution home
<http://www.unece.org/env/lrtap/welcome.html>
Geraadpleegd op 17-02-2013

UNECE (2013a) The Convention
http://www.unece.org/env/lrtap/lrtap_h1.html
Geraadpleegd op 17-02-2013

Themasitespbl (2013) Herziening Gothenburg Protocol en NEC-Richtlijnen
<http://themasites.pbl.nl/balansvandeleeftomgeving/2010/klimaat-lucht-en-energie/lucht/revisie-gothenburg-protocol-en-nec-richtlijn>
Geraadpleegd op 16-02-2013

Wikipedia (2013) Kyoto-protocol
<http://nl.wikipedia.org/wiki/Kyoto-protocol>
Geraadpleegd op: 18-02-2013

Verbeek, R., Kampman, B., TNO (2012) TNO Brandstoffen voor het wegverkeer Kenmerken en perspectief, Herziende druk

Hoofdstuk 5

Floor, K. (2011) *De stad heeft een eigen klimaat*
<http://www.keesfloor.nl/artikelen/zenit/stadsklimaat/index.htm>
Geraadpleegd op 15-02-2013

Kunst, O. (2013) *Groendak als standaardkeuze, alleen verhard en als de voordelen dat rechtvaardigen*
Artikel uit vakblad Dak&Gevelgroen

Merriënboer, J. (2011) *"Vorm, inhoud en betekenisgeving van openbaar groen in de naoorlogse stedenbouw"* Druk Van Hall Larenstein, Velp

Meyer, H., de Josselin de Jong, F., Hoekstra, M.J. (2006) *Het ontwerp van de openbare ruimte*. 3e druk. Uitgeverij SUN, Amsterdam

The Atmospheres of cities (2006) Uitleg van *The Atmospheres of cities*
<http://www.ucar.edu/communications/staffnotes/0603/cities.shtml>
Geraadpleegd op 29-03-2013

Wikipedia (2013) *Woningwet*
<http://nl.wikipedia.org/wiki/Woningwet>
Geraadpleegd op 28-03-2013

Hoofdstuk 6

Bade, T., Smid, G., Tonneijck, F. () *Groen loont! Over de maatschappelijke en economische baten van stedelijk groen*
Drukkerij: Drukmotief Apeldoorn

Bleeker, A. & Draaiers, G.P.J. 2001 *Literatuurstudie naar de invloed van kroonstructuur en bosranden op de atmosferische depositie in bossen*. TNO-rapport nr. R 2001/580.

Chen Y. & N.H. Wong, 2006. *Thermal benefits of city parks*

Cornelissen, T., Boons, E., Coolen, M., van Dijk, I., Frijns, H., Plantinga, M., de Reus, C., Verhagen, J. (maart 2012) *Bepanting en luchtkwaliteit* ISBN: 978 90 6628 600 9

Driel van, T., Kort de, J. (2001) *Bodemkunde en bemesting*
2e druk

Hiemstra, J. A., E. Schoenmaker & A.E.G., Tonneijck & Hoffman, M.H.A. (2008) *Bomen een verademing voor de stad*

Hoffman, M. (2009) *Planten en luchtkwaliteit*
Publicatie in dendroflora nr. 46

Houben, B., Jongbloed, F., Kroon, T., Prins, M., Terhurne, R. (2006) *Bos als fijnstoffilter, een literatuurstudie - Rapport van Geldersch Landschap en Geldersche Kasteelen, Arnhem*

Hoyos P. et al. 2007 *Annual disaster statistical review: Numbers and trends 2006*

Indymedia (2013) *Cities to get much hotter as heatwaves amplify Urban Heat Island Effect*
<http://indymedia.org.au/2013/06/02/cities-to-get-much-hotter-as-heatwaves-amplify-urban-heat-island-effect>
Geraadpleegd op 2-04-2013

Jun Yang, J., McBride, J., Zhou, J., Sun, Z. (2005) *The urban forest in Beijing and its role in air pollution reduction - Urban Forestry & Urban greening* 3, 65-78

Kaasik, M., Sofie, V.M., Alliksaar, T., Ivask, J. (2004) *Dry deposition of fly ash depending on boundary-layer stratification and underlying surface roughness: A model validation study - 9th Int. Conf. On Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes, Garmisch-Partenkirchen, Germany, 1-4 June 2004*

Kuypers, V., de Vries, B., Peeters, R. (2008) *Groen voor klimaat*

McPherson, E.G., Nowak, D.J., Rowntree, R.A. (1994) *Chicago's urban forest ecosystem: Results of the Chicago urban forest climate project - Radnor, USDA Forest service, Northeastern Forest Experiment Station*

Oosterbaan, A., F. Tonneijck, et al. (2006). *Landschapselementen als invangers van fijnstof en ammoniak*. Wageningen, Alterra – Invangcapaciteit van bomen (met name naaldbomen) en struiken: de zuiverende werking van vegetatie

de Roo, M., Roozen, N. (2011) *The Green City Guidelines*
Drukkerij: Zwaan Printmedia, Wormerveer

Staatsbosbeheer (2013) *Historie bossen*
<http://www.staatsbosbeheer.nl/over%20staatsbosbeheer/historie.aspx>
Geraadpleegd op 25-04-2013

Tonneijck, F., de Vries, B., Kuypers, V. (september 2008) *Leidraad luchtzuivend groen*