

Het fijne van fijn stof

Een zoektocht naar mogelijkheden om
middels groenstructuren de concentratie fijn
stof in Nijmegen-West te reduceren



In opdracht van: Gemeente Nijmegen

E.A. de Vries
Nijmegen, 2005

Woord vooraf

In het tweede studiejaar van de opleiding ROM is de tweede module een 'Praktijkonderzoek'. Centraal in deze eenheid staat de praktijktoepassing van aangereikte methodieken en vaardigheden, in de vorm van een individueel onderzoek van een praktijksituatie. Deze praktijksituatie en daarmee het onderzoek moet bij voorkeur relevant zijn binnen de werksituatie en daardoor voor een aanzienlijk deel binnen werktijd uitgevoerd kunnen worden.

Dit praktijkonderzoek is uitgevoerd in samenwerking met de gemeente Nijmegen en Alterra. Graag wil ik beide organisaties danken voor de steun bij dit onderzoek. Tevens wil ik medestudent John Ankoné en docent ing. drs. P.J.E. Heynen bedanken voor de hulp bij het op koers houden van dit onderzoek.

Barry de Vries
14 januari 2005

Inhoud

Samenvatting	5
1 Inleiding	6
1.1 Achtergrond	6
1.2 Doelstelling	8
1.3 Probleemstelling	8
1.4 Begripsbepaling	8
1.5 Methoden van onderzoek	9
1.6 Leeswijzer	9
2 Fijn stof.....	10
2.1 Wat is fijn stof	10
2.2 Waarom is fijn stof schadelijk	10
2.3 Omvang van het probleem	11
2.3 Beleid fijn stof	13
2.4 Deelconclusie	14
3 Groenstructuren als buffer.....	15
3.1 Omgaan met fijn stof	15
3.2 Het principe van de luchtstroming	15
3.3 Het principe van de groenstructuur	16
3.4 Het principe van de vegetatie	18
3.5 Eisen aan de groenstructuur	18
3.6 Deelconclusie	20
4 Gebiedsbeschrijving	21
4.1 Beschrijving opbouw van de Energieweg	21
4.2 Ruimtelijke ordening op en rondom de Energieweg	22
4.3 Luchtkwaliteit bij de Energieweg	23
4.4 De Energieweg in de Toekomst	24
4.5 Deelconclusie	25

5	Mogelijkheden rond de Energieweg	26
5.1	Na te streven doelen	26
5.2	Mogelijkheden voor bescherming woonwijk	26
5.3	Mogelijkheden voor bescherming fietspad	27
5.4	Verwachte resultaten	28
5.5	Deelconclusie	28
6	Discussie	29
6.1	Stromingsleer versus filter-effect	29
6.2	Loofbomen voor NO _x , naaldbomen voor fijn stof.	29
6.3	Verdere afbakening was noodzakelijk	29
6.4	Relaties met andere ontwikkelingen	30
6.5	Wikken en wegen voorafgaand aan de aanleg	30
7	Conclusies en aanbevelingen.....	31
7.1	Conclusies	31
7.2	Aanbevelingen	32
	Literatuur	34

Bijlagen:

Bijlage 1: Profielen

Bijlage 2: Relevante eigenschappen van inheemse soorten

Samenvatting

In Nijmegen-West staan grote veranderingen op stapel. Er komt een Tweede Waalbrug. De Energieweg wordt aan de zuidkant van de brug de oprit. Momenteel is de concentratie fijn stof al hoog en die zal door de komst van deze brug stijgen. Groenstructuren kunnen mogelijk de concentratie fijn stof reduceren.

“Waar moet een groenstructuur gerealiseerd worden om de verwachte stijging van de concentratie fijn stof in Nijmegen-West te reduceren en welke vorm en soort groenstructuur moet dit zijn,” is de centrale vraagstelling van dit onderzoek.

Het eerste deelonderzoek was een literatuurstudie naar de relatie tussen fijn stof en groenstructuren. In het tweede deelonderzoek is de situatie rondom de Energieweg (Nijmegen-West) onder de loep genomen. Daarna zijn de resultaten van beide deelonderzoeken gecombineerd om zo tijdens de herinrichting van de Energieweg (en omgeving) meer te kunnen zeggen over de meest gunstige invulling.

Fijn stof bedreigt in te hoge concentraties de gezondheid. Jaarlijks sterven er mensen als gevolg van fijn stof. De hoge concentratie fijn stof op de Energieweg in Nijmegen-West noopt tot ingrijpen.

Groenstructuren kunnen fijn stof afvangen en daarmee de concentratie doen dalen. Poreuze groenstructuren werken doordat de wind door de groenstructuur waait beter dan gesloten of onvolledige groenstructuren. De belangrijkste kenmerken voor het afvangen van fijn stof door een poreuze groenstructuur zijn soortensamenstelling, hoogte, gelaagdheid, afstand tot bron, porositeit, ruw oppervlak en het randeffect. Naaldbomen vangen fijn stof beter af, loofbomen nemen NO₂ beter op.

Indien de luchtstroming homogeen is, dan hebben groenstructuren het meeste effect als ze dicht op het te beschermen object staan. Bij niet homogene luchtstroming, kan de concentratie fijn stof vlak achter de groenstructuur hoger zijn. De afstand tussen de groenstructuur en het te beschermen object moet groter zijn. Er zijn nog wel onduidelijkheden over de grootte van de afvangst en over de gevolgen van een groenstructuur bij een niet homogene luchtstroming.

Langs het bestaande profiel van de Energieweg is geen ruimte om een groenstructuur aan te leggen, maar omdat voor andere aspecten de ruimte ook te beperkt is, is voor de herinrichting grondverwerving noodzakelijk. Dit biedt perspectief voor de groenstructuren, maar de problemen moeten wel integraal bekeken worden.

Om de woonwijken beter te beschermen, moet de bestaande groenstructuur (particulier groen) versterkt worden. Dit kan op gemeentelijk terrein. Om de fietsers en voetgangers op de Energieweg te beschermen moet de afstand tussen de rijbanen en de fiets- en voetpaden zo groot mogelijk gemaakt worden.

Alvorens en masse groenstructuren aan te leggen is nader praktijkonderzoek (bijv. pilots) naar de invloed van groenstructuren gewenst.

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

Nijmegen staat voor een van de grootste uitdagingen in de stedenbouwkundige geschiedenis van de stad: de vernieuwing van Nijmegen-West. De omvang van dit project is te vergelijken met de aanleg van de singels in de negentiende eeuw en de ontwikkeling van de Waalsprong.

De afgelopen jaren is de vraag naar een duurzame toekomst voor dit gemengde gebied steeds sterker naar voren gekomen. In Nijmegen-West strijden verkeers- en bereikbaarheidsproblemen, verouderde bedrijfsterreinen, spanning tussen wonen en werken, verwaarloosd onderhoud en milieuproblematiek om de aandacht. Om te voorkomen dat de oplossing voor het ene vraagstuk weer een ander vraagstuk c.q. probleem oproept, is een integrale aanpak noodzakelijk. Koers-West is een samenhangend geheel van bestaande en nieuwe projecten, waarmee wonen, werken, milieu en verkeer in het gebied een nieuwe impuls krijgen. Dit heeft positieve effecten op de ontwikkeling van de hele stad. De gemeente bouwt samen met bewoners en gebruikers aan een goed bereikbaar en leefbaar Nijmegen.

Het ambitieuze plan rust op drie pijlers:

- de herinrichting van de bestaande bedrijventerreinen;
- de ontwikkeling van een prettig woon- en werkmilieu aan de Waal (Waalfront), waarbij een eigentijdse combinatie van wonen en werken aan het water wordt gezocht;
- de aanleg van een tweede stadsbrug.

De integrale aanpak van deze drie projecten moet winst opleveren voor de economie, het milieu en de woon- en werkomgeving.

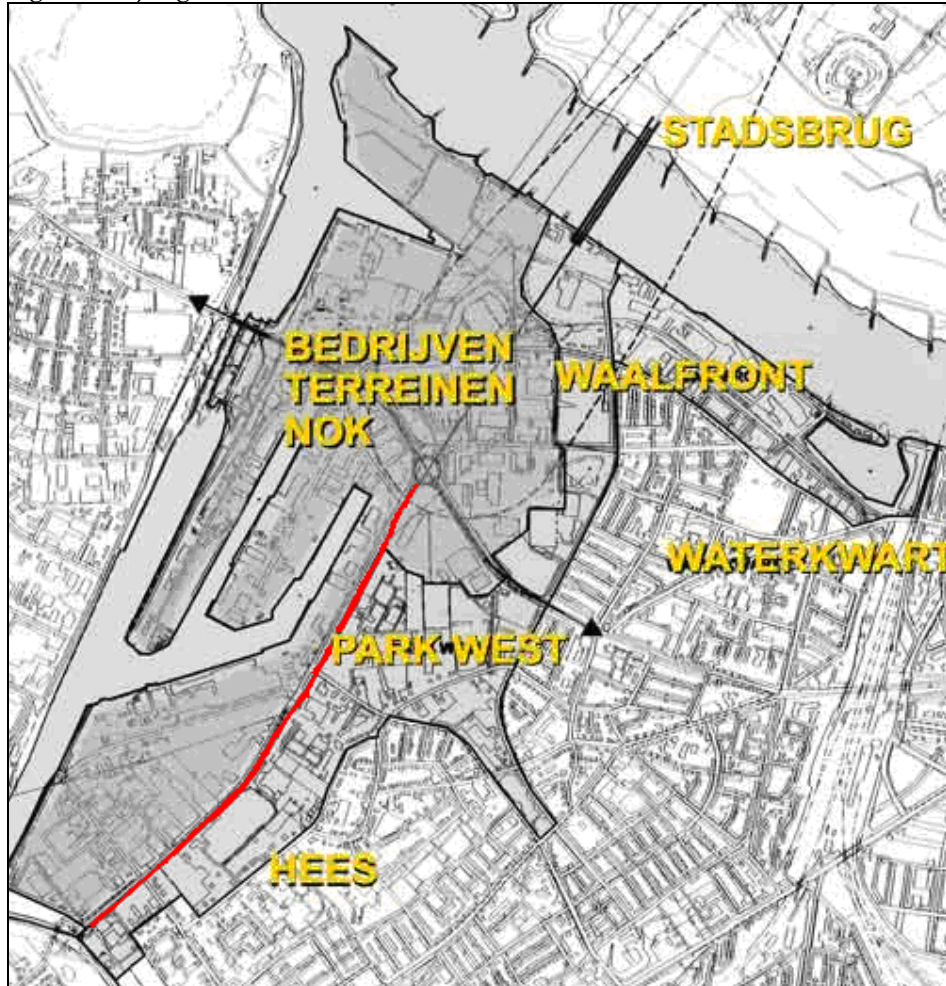
Korte gebiedsbeschrijving

Het plangebied van Koers-West beslaat ongeveer 250 hectare en maakt deel uit van Nijmegen-West. De geschiedenis is bepalend geweest voor het stadsbeeld. De industriële ontwikkeling, met in het kielzog de volkswoningbouw aan het eind van de 19e eeuw, zijn in sterke mate bepalend geweest voor de ontwikkeling en het karakter van Nijmegen-West. De ontwikkeling van het gebied heeft in de loop der tijd ertoe geleid dat een dicht industriecomplex is ontstaan tussen de Waal en het woongebied. Voor de woningbouw geldt dat er nauwelijks contact is met de rivier en de industrie is nauwelijks gebonden aan het water. Het gebied ligt nabij het Nijmeegse stadscentrum, maar wordt door een spoordijk grotendeels afgesloten van dit centrum.

Door het graven van het Maas-Waalkanaal en de havens, kwam de industriële ontwikkeling van Nijmegen-West in een stroomversnelling. De nieuwe bedrijven boden meer werkgelegenheid, maar brachten ook meer overlast met zich mee (stank, verkeer, geluidshinder, enz.). Het bedrijventerrein werd onsamenhangender en

verwaarloosde. Inmiddels is het revitaliseringsproces van start gegaan, maar ingrijpende veranderingen in de infrastructuur en openbare ruimte zijn noodzakelijk om een betere toekomst te garanderen. Een van de punten waar de problemen bij elkaar komen is de Energieweg (rood). Op de tekentafel wordt momenteel gewerkt aan een herinrichting van deze weg. Dit is een uitgelezen mogelijkheid om de diverse problemen ineens aan te pakken.

Figuur 1: Nijmegen-West



Fijn stof en een Groene buffer

Momenteel wordt fijn stof als een van de grootste milieuproblemen in Nijmegen-West beschouwd. Dit lijkt door de komst van de Tweede Waalbrug (aansluitend op de Energieweg) in de toekomst toe te nemen, evenals de toename van geluidshinder. Deze toename is ongewenst. Langdurige blootstelling aan fijn stof beïnvloedt de gezondheid van mensen. Berekeningen in Rotterdam wijzen uit, dat daar jaarlijks ongeveer 1450 mensen in het Rijnmond gebied eerder sterven als gevolg van fijn stof (DCMR Milieudienst Rijnmond, 2003). Uit onderzoek blijkt ook dat fijn stof kan worden gereduceerd door de aanleg van groenelementen (Tonneijck, 2002). Een

groenelement kan de concentratie fijn stof echter ook doen rijzen. Bij de ontwikkeling van Nijmegen-West wil de gemeente Nijmegen de groenstructuren zo aanleggen dat zij de concentratie fijn stof reduceren.

De groenstructuur gaat een buffer vormen tussen de industrie en de verkeersaders enerzijds, en het woon- en leefgebied anderzijds. Afhankelijk van de vorm, de plantensoorten en de oppervlakte, maar ook zeker van de situering van de groenstructuur kan het milieuprobleem tot een acceptabel niveau worden teruggedrongen.

Groenstructuren aanleggen ter reductie van het fijn stof is een effectgerichte maatregel. De gemeente is zich ervan bewust dat ook brongerichte maatregelen noodzakelijk zijn. Desalniettemin ziet de gemeente ook heil in de effectgerichte maatregelen.

1.2 Doelstelling

Het doel van dit onderzoek is: *“Het komen tot een afgewogen advies voor de gemeente Nijmegen waarin de situering, de vorm en de soort groenstructuur zodat deze de concentratie fijn stof reduceert in Nijmegen-West”*.

Met de resultaten van dit onderzoek wordt in eerste instantie de gemeente Nijmegen een handreiking gegeven in de zoektocht naar manieren om de concentratie fijn stof te doen dalen. De resultaten zijn ook voor andere gemeenten met soortgelijke problemen bruikbaar, maar wel met dien verstande dat dit is toegespitst op de situatie in Nijmegen-West. Gegevens kunnen daarmee niet één-op-één overgenomen worden. Wel kunnen ze de andere gemeenten helpen bij hun inschattingen.

1.3 Probleemstelling

Waar moet een groenstructuur gerealiseerd worden om de verwachte stijging van de concentratie fijn stof in Nijmegen-West te reduceren en welke vorm en soort groenstructuur moet dit zijn?

1.4 Begripsbepaling

Concentratie fijn stof	Hoeveelheid stofdeeltjes in de lucht die een diameter van 10 µm of kleiner hebben (= PM ₁₀).
Groenstructuur	Beplanting die samen een lijnvormig element vormen. Onder groenstructuren worden niet verstaan, bossen, water en solitaire bomen.
Nijmegen-West	Westelijk deel van Nijmegen: Het industrieterrein Noord- en Oost Kanaalhaven (NOK), het dorp Hees en de woonwijken Biezen en Waterkwartier (zie figuur 1).
Tweede Waalbrug	De geplande brug voor autoverkeer die tussen de brug bij Ewijk (A50) en de huidige Waalbrug bij Nijmegen gepland is (zie figuur 1).

Vorm en soort	De verschijningsvorm van de groenstructuur. Hierbij wordt gekeken naar soort element (bijv. bomenrij of singel) en naar de opbouw van het element (bijv. dichtheid, hoogte, breedte, soort).
---------------	--

1.5 Methoden van onderzoek

Het onderzoek bestaat uit een deel literatuuronderzoek om achtergrondinformatie in te winnen. Hiervoor zijn onderzoeksrapportages van onder andere adviesbureaus en onderzoeksinstituten geraadpleegd. Ook zijn rapporten en documenten van de gemeente Nijmegen doorgenomen. Indien noodzakelijk, is contact opgenomen met deskundigen.

In het tweede deel van het onderzoek zijn aan de hand van de gevonden informatie gesprekken gevoerd met gemeente en eventueel belanghebbenden over de gewenste invulling van het gebied.

Door gegevens van beide deelonderzoeken met elkaar te vergelijken, is gezocht naar de voor fijn stof de meest gunstigste invulling van de Energieweg.

1.6 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt uiteengezet wat fijn stof is en waarom het een probleem is. Ook wordt de omvang van het probleem en de opstelling van de overheid beschreven. Dit hoofdstuk dient als achtergrond. In het daaropvolgende hoofdstuk wordt het principe van fijn stof afvangen beschreven.

Doel is om dit principe van fijn stof afvangen toe te passen in Nijmegen-West. Er wordt ingezoomd op de omgeving van de Energieweg, omdat dit hier de concentratie fijn stof het hoogst is en de herontwikkeling het verst gevorderd is. In hoofdstuk 4 wordt het gebied beschreven en in hoofdstuk 5 worden de mogelijkheden om de problematiek aan te pakken uiteengezet. In hoofdstuk 6 is een discussie opgenomen, en het rapport wordt afgesloten met de conclusies en aanbevelingen.

2 Fijn stof

2.1 Wat is fijn stof

Fijn stof is net als zware metalen een deeltjesvormige verontreiniging die in te hoge concentraties de gezondheid kan bedreigen. Het fijn stof varieert sterk, in chemische samenstelling, in grootte en gedurende de tijd. Fijn stof heeft een diameter van 10 μm of kleiner en kan daardoor door de mens worden ingeademd. De aanduiding voor fijn stof is PM_{10} (PM = particulate matter, 10 = maximale grootte: 10 μm). Fijn stof komt op verschillende manieren vrij en kan in twee groepen worden ingedeeld:

- de primaire fractie zijn deeltjes die door menselijk handelen en/of door natuurlijke processen in de lucht komen. Voorbeelden van het door menselijk handelen zijn transport, industrie en landbouw. Op natuurlijke wijze kan fijn stof ook in de lucht komen, door de zee (kleine zoutdeeltjes), of door opwaaiend bodemstof;
- secundaire fractie zijn deeltjes die ontstaan na een chemische reactie in de atmosfeer. Ammoniak (NH_3), stikstofoxiden (NO_x) zwaveldioxiden (SO_2) en vluchtige organische koolwaterstoffen (VOS) spelen hierbij een belangrijke rol.

2.2 Waarom is fijn stof schadelijk

PM_{10} dat door de mens wordt ingeademd, kan gezondheidseffecten veroorzaken op voornamelijk de luchtwegen. Voor het jaar 2000 zijn naar schatting 1700 vroegtijdige sterfgevallen in verband te brengen met luchtverontreiniging door PM_{10} (Buringh en Opperhuizen, 2002). Dit treedt meestal op bij personen met een zwakke gezondheid. Minder ernstige effecten zoals bijv. klachten aan luchtwegen kunnen bij grotere groepen mensen optreden. Vooral langdurige blootstelling aan fijn stof is schadelijk voor de gezondheid. Voor het Rijnmondgebied is berekend dat jaarlijks ongeveer 1450 mensen (variërend van enkele maanden tot twee jaar) eerder overlijden als gevolg van fijn stof (DMCR Milieudienst Rijnmond, 2003).

Uit berekeningen van het RIVM blijkt dat in Nederland in 2001 bijna 3000 mensen sterven als gevolg van fijn stof. Zie tabel 1.

Tabel 1: Sterfte a.g.v fijn stof in Nederland (RIVM, 2003)

		Totaal	w.v.
		Nederland	fijn stof (PM ₁₀) ²⁾
Sterfte in 2001		<i>aantal mensen</i>	⁴⁾
Alle oorzaken		140 377	2 850 (2 250-3 450)
w.v.	luchtwegaandoeningen	13 387	750 (600-950)
	w.v. COPD ³⁾	6 373	350 (250-450)
	w.v. longontsteking	5 952	350 (250-450)
	hart- en		
	vaataandoeningen	47 643	700 (400-1 450)
Spoedopnamen in 2001			
Alle luchtwegaandoeningen		45 818	700 (450-950)
Hart- en vaataandoeningen		98 187	200 (0- 900)
1) De rekenmethode die voor 2001 is gebruikt is anders dan de methode die in voorgaande jaren is gebruikt. De cijfers over 2000 zijn hierdoor niet meer vergelijkbaar met de gegevens over 2001. 2) Uitgaande van een weekgemiddelde 24-uurs fijn stofconcentratie. 3) Chronic Obstructive Pulmonary Disease, hieronder vallen chronische bronchitis en longemfyseem. 4) Met bandbreedte van de cijfers, een indicatie voor de betrouwbaarheid. De bandbreedte is gebaseerd op een statistische bewerking en geeft de onder- en bovengrens van het 95% betrouwbaarheidsinterval.			
Bron: RIVM.		RIVM/MC/okt03	

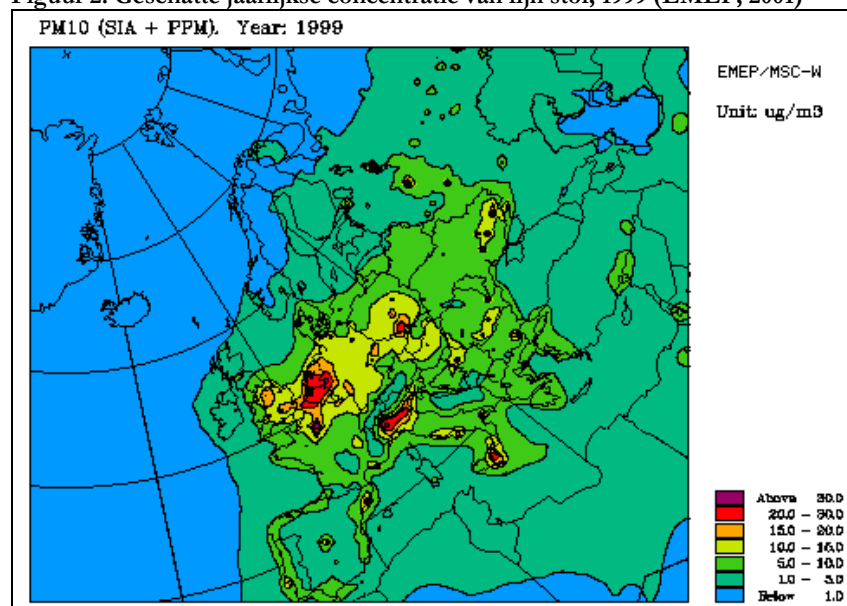
Waarom fijn stof de gezondheid beïnvloed is nog onduidelijk. Ook is niet duidelijk welke fijn stofdeeltjes wel en welke geen gezondheidsklachten veroorzaken. Fijn stof als gevolg van verbrandingsprocessen lijken relevanter voor de gezondheidsklachten dan bijv. zeezout, anorganisch secundair stof en bodemstof (RIVM, 2003). In Weurt, gelegen ten westen van Nijmegen, wordt het verhoogde aantal gevallen van kanker (statistisch niet significant) geweten aan de hoge concentratie fijn stof als gevolg van industrie en verkeer (GGD Regio Nijmegen, 1996).

2.3 Omvang van het probleem

Fijn stof op Europees schaalniveau

In figuur 2 staat de geschatte jaarlijkse concentratie van fijn stof weergegeven. De gegevens dateren uit 1999. In de figuur is zichtbaar dat de problematiek het grootst is in Noordwest-Europa (Nederland, België, Engeland en het Ruhrgebied in Duitsland), Noord-Italië, Sicilië en in Zuid-Polen (Krakow).

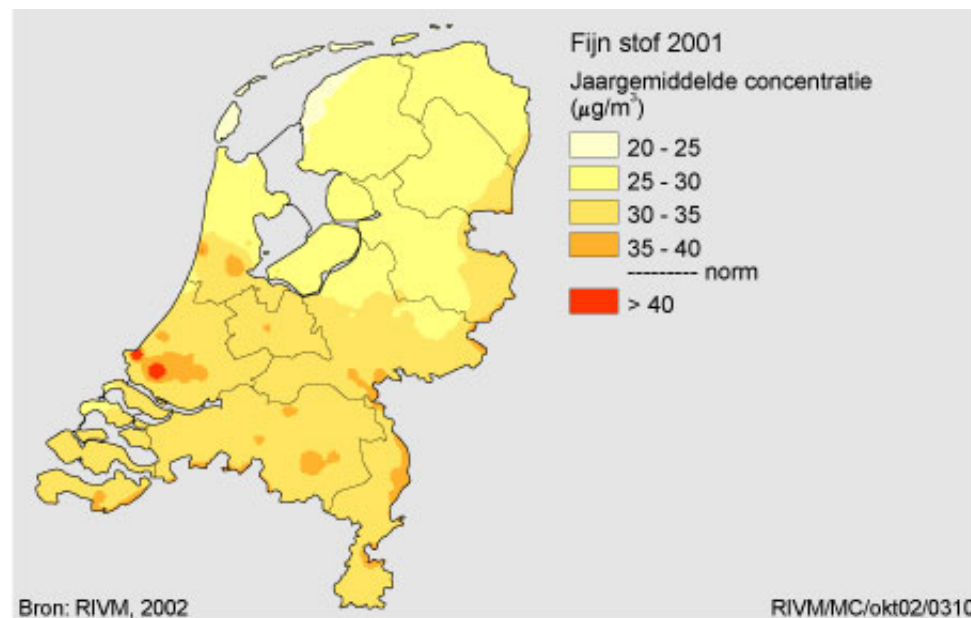
Figuur 2: Geschatte jaarlijkse concentratie van fijn stof, 1999 (EMEP, 2001)



Fijn stof op nationaal niveau

Tot voor kort werd fijn stof op ruim 260 plaatsen gemeten, maar tegenwoordig is het aantal meetpunten gereduceerd tot ca. 55 meetpunten. Op basis van de gegevens van deze meetpunten voert het RIVM berekeningen uit om de concentratie fijn stof te bepalen. Het CAR-II-model wordt gebruikt bij de berekeningen. In figuur 3 is de concentratie fijn stof in Nederland in 2001 weergegeven.

Figuur 3: Jaargemiddelde concentratie fijn stof, in Nederland, 2001 (RIVM, 2002)



Uit figuur 3 blijkt dat de problemen zich vooral concentreren rondom de Rotterdamse Haven. Daarnaast zijn er ook gebieden waar de problemen nu al tegen de grenswaarde aan zitten (o.a. Amsterdam, IJmuiden, Eindhoven en de regio Nijmegen). In Noord-Nederland zijn de problemen het kleinst.

De Raad van State heeft onlangs bepaald dat bij nieuwe (ruimtelijke) ontwikkelingen de normen voor o.a. fijn stof in acht genomen dienen te worden (Raad van State, 2004). Het risico bestaat dat wanneer Nederland niet tijdig aan deze norm kan voldoen waardoor het land “op slot” gaat. Nieuwe (ruimtelijke) ontwikkelingen worden onmogelijk gemaakt.

Fijn stof in Nijmegen

In Nijmegen wordt de stedelijke achtergrondconcentratie van fijn stof en van NO₂ mede bepaald door de aanwezigheid van snelwegen. Dit zijn de A15, A50, A73 en A325. Ook het industrieterrein NOK draagt hier aan bij.

Voor fijn stof wordt de grenswaarde voor de jaargemiddelde concentratie op ruim 300 wegvakken in Nijmegen en langs de A325 overschreden. De jaargemiddelde plandrempel wordt op 6 vakken langs de Energieweg en de Graafseweg overschreden. Daarnaast wordt de daggemiddelde grenswaarde overal overschreden en de daggemiddelde drempelwaarde op 185 plaatsen. De waarden worden met het CAR-II-model berekend. Op basis van deze gegevens worden door overheden beslissingen genomen. In Amsterdam en in Rotterdam hebben de gemeentelijke diensten een eigen meetnetwerk aangelegd omdat de waarden uit het CAR-II-model te hoog zijn. De metingen vallen meestal lager uit omdat in de rekenmodellen verouderde gegevens zitten en een aantal dubbeltellingen (Claessen, 2005). De gemeente Nijmegen onderzoekt of zij ook zelf een meetnetwerk voor onder andere fijn stof gaat aanleggen.

2.3 Beleid fijn stof

Europees beleid

In Europees verband zijn in 1999 normen opgesteld voor fijn stof. In deze Richtlijn wordt een onderscheid gemaakt tussen kortdurende en langdurende blootstelling. Vanaf 2010 geldt een verscherping van de Richtlijn voor fijn stof. Er zijn geen Europese afspraken ten aanzien van de uitstoot van fijn stof (primaire). Wel wordt door de verplichte emissiedoelstellingen voor SO₂, NO_x, NH₃ en VOS het secundair fijn stof verminderd (EU, 2001).

Tabel 2: Europese Richtlijn voor fijn stof (EU,1999)

Blootstellingsperiode		Jaar	Grenswaarde	Overschrijding in dagen
Kortdurend	Daggemiddelde	2005	50µg/m ³	Max. 35 overschrijden
		2010	50µg/m ³	Max. 7 overschrijden
Langdurend	Jaargemiddelde	2005	40µg/m ³	Geen
		2010	20µg/m ³	Geen

Nederlands beleid

De Europese richtlijnen op gebied van luchtkwaliteit zijn nationaal vertaald in het Besluit Luchtkwaliteit. Gemeenten zijn verplicht de luchtkwaliteit te meten c.q. berekenen, de resultaten te rapporteren aan de provincie en een plan op te stellen voor de plaatsen waar de plandrempel wordt overschreden. Dit besluit heeft op naast fijn stof ook betrekking op Zwaveldioxide (SO₂), Stikstofoxiden (NO_x), Lood (Pb), Koolstofmonoxiden (CO), Benzeen (C₆H₆) en Ozon (O₃). Het Besluit Luchtkwaliteit wordt in de nabije toekomst uitgebreid met Arsenicum (As), nikkel (Ni), cadmium (Cd), kwik (Hg) en polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK's).

Naast het Besluit Luchtkwaliteit is ook de Nederlandse Emissie Richtlijn Lucht (NeR) van toepassing. Fijn stof is hier niet in opgenomen. Wel kunnen lokale overheden in milieuvergunningen aandacht aan fijn stof geven.

Beleid in Nijmegen

In de gemeente Nijmegen worden op diverse plaatsen de normen voor fijn stof overschreden. De overschrijding is slechts op twee plaatsen zo hoog dat een Plan-van-Aanpak opgesteld moet worden. Desalniettemin ziet de gemeente in de hoge concentraties fijn stof voldoende aanleiding om te werken aan een verlaging van de concentratie fijn stof in de gehele stad. Een eerste stap is om precies in beeld te brengen hoe groot het probleem is. Hiervoor gaat de gemeente niet meer uit van de modellen en berekeningen, maar worden zelfstandig metingen verricht. Pilots voor de ontwikkeling van een stedelijk meetnet voor de luchtkwaliteit worden reeds opgestart. Naast maatregelen om de doorstroming van het verkeer te verbeteren worden ook de fietsverbindingen verbeterd zodat de fiets een volwaardig alternatief wordt voor de auto. Ook in de planvorming worden randvoorwaarden gesteld die betrekking hebben op fijn stof (Tauw, 2003). De gemeente ziet fijn stof als een serieus probleem voor de gezondheid van haar inwoners. Ook ziet zij in dat fijn stof een probleem kan worden voor de ontwikkeling van de stad.

2.4 Deelconclusie

Fijn stof is een verzamelnaam voor deeltjesvormige verontreinigingen die een diameter van 10 µm of kleiner hebben. Fijn stof bedreigt in te hoge concentraties de gezondheid. Jaarlijks sterven er ongeveer 3000 mensen eerder als gevolg van fijn stof. Binnen Europa zijn in Noordwest-Europa de concentraties fijn stof het hoogst. In Nederland zijn de concentraties in en om de Rotterdamse haven het hoogst, maar ook in de omgeving van Nijmegen zijn de concentraties van fijn stof hoog. De aanwezigheid van diverse snelwegen en het industrieterrein NOK draagt hier aan bij. In Europees verband zijn in 1999 normen opgesteld voor fijn stof en Nederland heeft zich hieraan geconformeerd.

3 Groenstructuren als buffer

3.1 Omgaan met fijn stof

Er zijn verschillende oplossingsrichtingen voor de verhoogde concentraties van fijn stof. De vervuiling bij de bron aanpakken is het meest effectief. Een voorbeeld hiervan is het bevorderen van de doorstroming van het verkeer. Ook ontmoedigen van het autogebruik, het openbaar vervoer verbeteren en stimuleren van fietsgebruik dragen daar aan bij. Desalniettemin blijft het autogebruik stijgen. Effectbestrijding kan eveneens bijdragen aan het verminderen van de problematiek. Door de luchtzuiverende en luchtgeleidende werking zijn groenstructuren in staat de concentratie fijn stof te verlagen. Om het principe van de groenstructuur als buffer tegen fijn stof uiteen te zetten is onderscheid gemaakt in luchtstroming, groenstructuren en de vegetatie.

3.2 Het principe van de luchtstroming

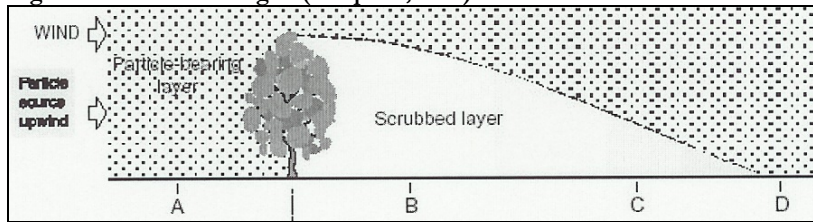
Niet homogene luchtstromen

In figuur 4 is het principe van luchtstromingen en obstakels weergegeven. De luchtstroming is afhankelijk van de homogeniteit van de lucht. Vlak bij de bron is de lucht niet homogeen. De barrière zorgt er voor dat het fijn stof zich met minder lucht mengt. Een deel van de lucht stroomt over de barrière heen en een deel stroomt door de barrière heen. Het deel dat door de barrière gaat wordt gefilterd, het deel dat over de barrière gaat niet. Achter de barrière is de wind gebroken en neemt de windsnelheid af. In dit gebied neemt enerzijds de depositie toe en anderzijds ontstaat turbulentie die de concentratie fijn stof laat toenemen. Verder van de barrière af ontstaat een zone waar een concentratie fijn stof lager is (Wesseling 2004).

Homogene luchtstromen

Verder van de bron af is de luchtstroming homogeen. De lucht en het fijn stof hebben zich voldoende kunnen mengen. Ook hier gaat een deel van de lucht door en een deel over de barrière heen. Het deel dat door de barrière gaat wordt gefilterd. Het deel dat over de barrière heen gaat heeft dezelfde concentratie fijn stof. Achter de barrière is de wind gebroken, waardoor de windsnelheid afneemt. In dit gebied neemt de depositie toe. In dit gebied ontstaat ook turbulentie, maar doordat de luchtstromen beide een lagere concentratie hebben is het netto resultaat van de lucht achter de barrière ook lager (Wesseling, 2004).

Figuur 4: Luchtstromingen (Raupach, 1999)



Indien bij A de lucht homogeen is, zal de concentratie fijn stof bij B en C lager zijn dan te verwachten is zonder barrière. Bij D is het effect van de barrière niet meer merkbaar. Is de lucht bij A niet homogeen, dan zal bij B een verhoogde concentratie fijn stof waar te nemen zijn. Bij C zal mogelijk weer een concentratieverlaging zijn. Bij D is het effect van de barrière niet meer merkbaar (Tonneijck, 2002).

Nader onderzoek noodzakelijk

Er zijn nog veel onduidelijkheden, met name over de grootte van de afvangst. Ook de gevolgen van een barrière bij een niet homogene luchtstroming zijn niet geheel duidelijk, zeker verder af van de barrière (C). (Wesseling, 2004).

Wel is duidelijk dat er een verhouding tussen de hoogte van de barrière en de grootte van het gebied waar de windsnelheid lager is (barrière tot D). Hiermee is echter niet duidelijk waar het gebied met een concentratieverlaging begint (C). Onderzoek in Duitsland toont aan dat dit zeer kort (2 meter) achter de barrière begint (Schweikle 1999). In modellen lijkt de zone op ongeveer 25m afstand te beginnen (Wesseling, 2003). Uit beide onderzoeken blijkt wel dat de concentratie fijn stof fors lager ligt. (Wesseling, 2003 spreekt over 40-45%). Hierdoor zijn de gevolgen voor de ruimtelijk inrichting nog niet helder.

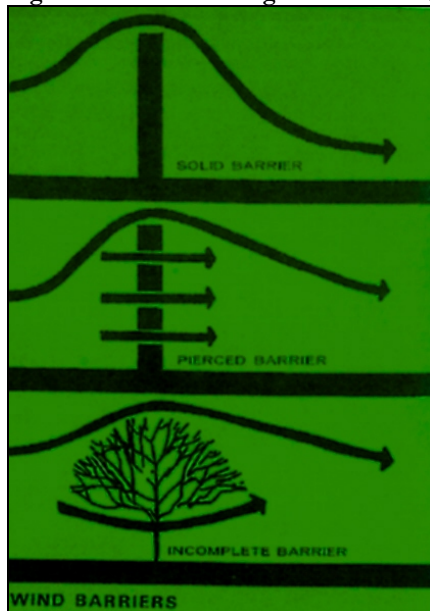
3.3 Het principe van de groenstructuur

Met groenstructuren wordt geprobeerd het fijn stof in de buurt van deze barrière te houden. Onderzoek naar luchtverontreiniging rondom boerderijen laat zien dat groenstructuren hiertoe in staat zijn (Franzaring, 2000). Groenstructuren kunnen in drie categorieën worden ingedeeld:

- gesloten barrières;
- (optisch) poreuze barrières;
- onvolledige barrières.

In figuur 5 is de soort barrière en de luchtstroming weergegeven.

Figuur 5: Verschillen in groenstructuur (Steward, jaar onbekend)



boven: gesloten barrière (bijv. geluidsscherm of een dichte haag)
 midden: poreuze barrière (bijv. halfopen haag, of bomenrij met ondergroei)
 onder: onvolledige barrière (bijv. bomenrij zonder ondergroei)

Gesloten barrière

Bovenaan in figuur 5 is een gesloten barrière weergegeven. De gesloten barrière werkt als een soort horde bij het hordelopen: Evenals een atleet die over de horde heen gaat, gaat de wind (met fijn stof) over de gesloten barrière heen. Het contact van de wind met de barrière is minimaal waardoor de stof niet of nauwelijks wordt afgevangen. Alleen de buitenkant van de barrière oefent een afvangende functie uit. Een geluidsscherm is een voorbeeld van een gesloten barrière.

Poreuze barrière

Doel van de poreuze barrière (figuur 5, midden) is dat een groot deel van de luchtstroom door de barrière heen gaat. Het fijn stof in deze luchtstroom wordt veel meer afgevangen. De stroomsnelheid van de lucht **in** de poreuze barrière neemt af. Hierdoor neemt de depositie in de barrière toe. De afvangst wordt versterkt door de turbulentie **in** de barrière. Deze turbulentie wordt veroorzaakt door de onregelmatigheden zoals bladharen. Om voldoende afvangst te genereren is een zekere mate van porositeit nodig zodat de luchtstroom de barrière in kan. Ook gaat een deel van de luchtstroming over de barrière. Dit deel gedraagt zich als bij een gesloten barrière.

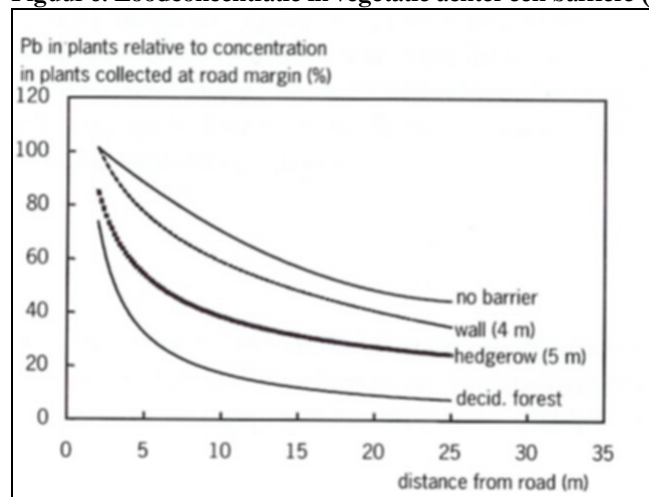
Onvolledige barrière

Een onvolledige barrière (figuur 5, onder) splitst de luchtstroom in twee aparte stromen. Een stroom over de barrière heen en een stroom onder de barrière door. Het contact is meer dan dat van een gesloten barrière, waardoor meer mogelijkheden zijn om stof af te vangen, maar minder dan bij een poreuze barrière. De afvangst blijft laag.

3.4 Het principe van de vegetatie

Uit diverse onderzoeken blijkt dat luchtverontreiniging kan worden ingevangen c.q. opgenomen door groenelementen (o.a. Beckett, 2000a; Nowak, 2000). Gasdeeltjes worden voornamelijk opgenomen door bomen, stofdeeltjes worden afgevangen. De wind blaast de stofdeeltjes de groenstructuren in. Deze blijven achter op de plantendelen. Het ingevangen fijn stof spoelt door regen van de bomen. De deeltjes kunnen ook door sterke wind weer vrijkomen, maar dit is in de regel veel minder het geval (Tonneijck, 2002). Volwassen bomen kunnen op een zeker moment 18 kilogram aan stofdeeltjes afvangen (McPherson, 1990). Geschat wordt dat bomen in Chicago per jaar zo'n 234 ton aan fijn stof afvangen (Nowak, 1994). In figuur 6 is de loodconcentratie in planten achter verschillende barrières weergegeven.

Figuur 6: Loodconcentratie in vegetatie achter een barrière (Schweikle, 1999)



NB: De grootte van de opgenomen stofdeeltjes is onbekend

Uit de grafiek blijkt dat naarmate de afstand tot de weg groter wordt, de loodconcentratie in planten afneemt. Bovendien blijkt dat de afvang door loofbomen en hagen effectiever is, dan door geluidschermen.

3.5 Eisen aan de groenstructuur

Voor de afvang van fijn stof moet een groenstructuur voldoen aan drie eisen:

- lucht moet door de groenstructuur kunnen stromen;
- turbulentie moet in de groenstructuur aanwezig zijn;
- fijn stof moet kunnen worden afgevangen door de vegetatie.

Luchtstroming door de groenstructuur

Hoe hoger een groenstructuur is, hoe groter het aandeel van de luchtstroom door de groenstructuur stroomt. Het gebied waar de windsnelheid wordt gereduceerd, is eveneens groter. Een reductie van de windsnelheid geeft een grotere depositie van fijn stof en daarmee een afname van fijn stof in de lucht.

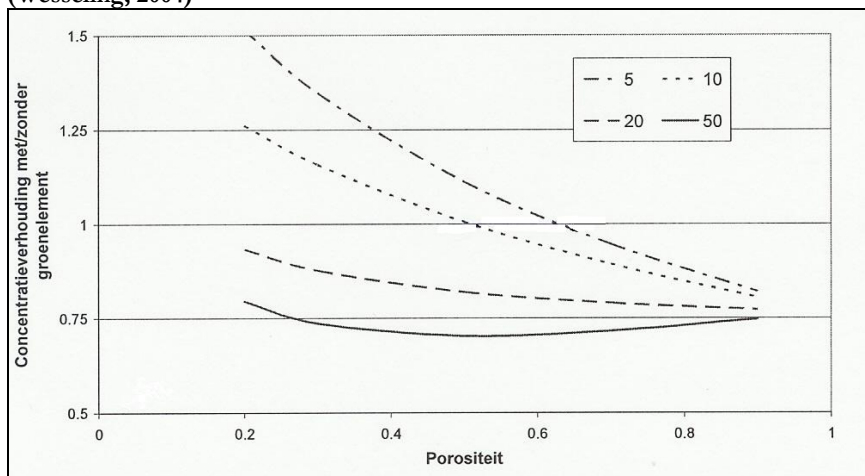
Gelaagdheid zorgt voor een groter horizontaal oppervlak en voorkomt dat een groenstructuur als een onvolledige barrière gaat werken. Bomen, met struiken en (hoog) gras als ondergroei, voorkomen een onvolledige barrière.

Voor de porositeit moet gezocht worden naar een wankel evenwicht. Enerzijds moet de doorstroming voldoende zijn, anderzijds moet er voldoende mogelijkheden zijn om fijn stof af te vangen en de turbulentie te vergroten.

Turbulentie in de groenstructuur

Bij de afvang van fijn stof is turbulentie in de groenstructuur van belang. Het ruwe oppervlak versterkt de turbulentie. De lucht beweegt meer tegen de vegetatie waardoor het fijn stof beter afgevangen wordt. Ook oneffenheden in de rand van de groenstructuur (randeffecten) bevorderen de turbulentie. De rand kan ook negatief werken indien het in combinatie is met een lage porositeit. De groenstructuur werkt dan als een soort schans. De lucht gaat er dan meer over heen dan doorheen. Enige mate van porositeit is dus van belang. Uit onderzoek in windtunnels blijkt dat bij een porositeit van 50% of meer de afvangst van fijn stof effectief wordt (Wesseling, 2004).

Figuur 7: Effect op de concentratie achter het element als functie van de optische porositeit (Wesseling, 2004)



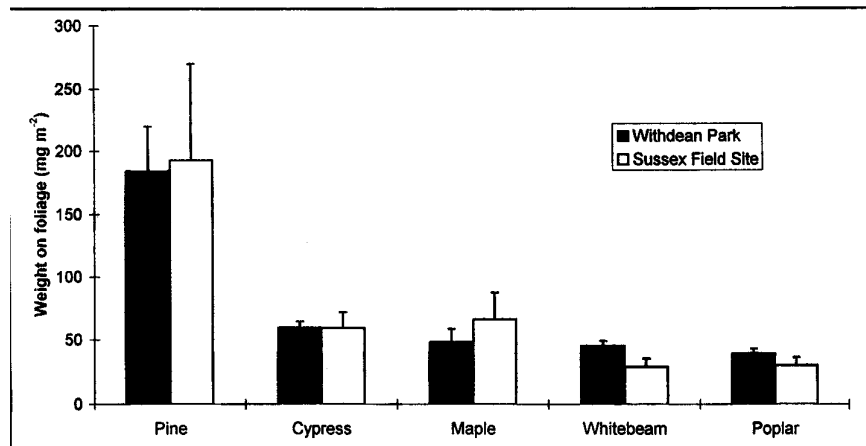
In de grafiek zijn de concentratieverhoudingen met/zonder groenelement weergegeven. Het omslagpunt ligt bij 1,0. Voor PM₂₀ en PM₅₀ geldt dat bij een porositeit van 20% het effect al meetbaar is. Voor PM₁₀ ligt het omslagpunt bij een porositeit van ongeveer 50%.

Afvangst door de vegetatie

Fijn stof wordt het beste ingevangen door bomen met een ruw oppervlak. Blad dat ruw en harig is werkt zeer goed, zeker als het vochtig is (Pye, 1987). Daarnaast heeft een elektrostatische lading ook een positieve invloed op de afvang (Beckett, 2000b). De houtige delen van bomen en struiken dragen ook een essentiële rol bij aan de afvang, vooral wanneer de bomen een ruwe plakkerige schors hebben (Beckett 1998). Door het grote volume en oppervlak zijn bomen effectiever dan andere planten

(Bradshaw 1995). Uit onderzoek blijkt dat naaldbomen meer geschikt zijn dan loofbomen (Beckett, 2000a). In figuur 8 is de fijn stof afvang van enkele boomsoorten weergegeven.

Figuur 8: Fijn stof afvang door bomen (Bron: Beckett, 2000a)



Pine = Grove Den; Cypress = cipres / conifeer; Maple = esdoorn; Whitebeam = Abeel en Poplar = populier

Met name Pinus-achtigen (Grove Den), maar ook cipressen hebben een grotere afvang dan de meeste loofbomen. In bijlage 1 is een lijst opgenomen met bomen en struiken (met relevante kenmerken) die kunnen bijdragen aan de reductie van het fijn stof gehalte.

3.6 Deelconclusie

De luchtstroming is afhankelijk van de homogeniteit van de lucht. Vlak bij de bron is de lucht niet homogeen. Indien niet homogene luchtstromen een barrière naderen, is de concentratie fijn stof rondom de barrière hoog door turbulentie en doordat een deel over de barrière heen slaat en de turbulentie. Verder van de bron af is de concentratie lager. Bij een homogene luchtstroom heeft het deel dat over de barrière heen slaat een kleiner effect op de hoogte van de concentratie, waardoor deze lager is dan bij een niet homogene luchtstroom.

Er zijn nog veel onduidelijkheden, met name over de grootte van de afvangst. Ook de gevolgen van een barrière bij een niet homogene luchtstroming zijn niet geheel duidelijk, zeker verder af van de barrière. Hierdoor zijn de gevolgen voor de ruimtelijke inrichting nog niet helder.

Poreuze groenstructuren werken beter dan gesloten of onvolledige groenstructuren. Het is van belang om turbulentie in de groenstructuur te krijgen daarom zijn ruwheid, randeffecten en porositeit van de groenstructuur van belang. Daarnaast is het van belang om zoveel mogelijk lucht door de barrière te laten stromen. Hiervoor zijn hoogte, gelaagdheid, afstand tot de bron en wederom porositeit belangrijk.

Vegetatie is in staat om effectief fijn stof af te vangen zonder dat deze weer in de lucht komt. Hierbij werken bomen beter dan lagere planten. Naaldbomen zijn effectiever in het afvangen van fijn stof dan loofbomen, loofbomen nemen daarentegen weer beter NO₂ op.

4 Gebiedsbeschrijving

4.1 Beschrijving opbouw van de Energieweg

Situering

De Energieweg (in het rood aangegeven in figuur 9) is een van de hoofdwegen in Nijmegen. Deze weg is de hoofdontsluiting van het industrieterrein NOK (Industrieterreinen Noord- en Oostkanaalhaven) op de oostelijke oever van het Maas-Waal-Kanaal. De Energieweg is een noord-zuidverbinding. In het noorden komt deze uit op de rotonde Industrieplein, waardoor het daar aansluit op de oost-westverbinding tussen Weurt en Nijmegen-Centrum, Industieweg. In het zuiden komt de Energieweg uit op de Neerboscheweg, dit is de oprit naar de A73.

Figuur 9: Situering Energieweg in Nijmegen-West (Kartview, 2003)



Profielschets

In bijlage 1 zijn de profielen van de Energieweg opgenomen. Het profiel “Noord” ligt ten noorden van de Wolfkuilseweg (zie figuur 9). De opbouw van het profiel van het zuidelijk en middengedeelte is nagenoeg gelijk. Deze liggen ten zuiden van de Wolfkuilseweg. In bijlage 1 is eveneens een profiel van dit gedeelte opgenomen, profiel “Midden”. Binnen de profielen varieert de breedte van minimaal 26.90m (profiel Midden) tot maximaal 41.20m (profiel Noord).

De Energieweg heeft vier rijbanen gescheiden door een middenberm. Aan beide zijden van de weg ligt een éénrichtingsfietspad en een voetpad. In het noorden is ook een afwateringsloot aanwezig.

Bij de herontwikkeling van de Energieweg zijn randvoorwaarden gesteld aan het te realiseren profiel:

- een voldoende brede middenberm om veilig de weg te kruisen;
- twee keer twee rijbanen;
- bereikbaarheid van de aangrenzende bedrijven behouden;
- aan de oostzijde een tweerichtingenfietspad;
- trottoirs voor voetgangers;
- voldoende brede zijbermen i.v.m. veiligheid (ca. 5.00m);
- behoud van een kwelsloot voor de ontwatering en waterafvoer;
- kabels en leidingen zoveel mogelijk niet verplaatsen;
- de wegas niet verplaatsen;
- binnen de erfgrenzen blijven;
- een duurzame oplossing.

De combinatie van randvoorwaarden betekent dat voor het voorkeursprofiel 43.80m nodig is voor profiel Noord (i.v.m. ontwateringsloot) en 37.80m voor het profiel Midden. Nergens binnen het huidige profiel is een goede oplossing mogelijk. Ook aan de minimale eisen kan moeilijk worden voldaan. Grondverwerving is noodzakelijk voor een goede herinrichting.

4.2 Ruimtelijke ordening op en rondom de Energieweg

In deze paragraaf wordt gefocust op de relevante aspecten voor de ontwikkeling van een groenstructuur.

Wonen en Bedrijvigheid

De Energieweg is min of meer de scheiding tussen het industrieterrein NOK en de bewoning van Nijmegen-West. Tussen de Energieweg en de bewoning zijn op veel plaatsen groene objecten gelegen. Alleen in het uiterste zuiden en in het midden (t.h.v. Wolfkuilseweg) grenst de bewoning aan de Energieweg. In het noorden en de gehele westelijke zijde van de Energieweg zijn bedrijventerrein gelegen. Bij de woningen die grenzen aan de Energieweg zijn veel problemen met de milieu-eisen en ruimte voor ontwikkeling van het gebied. Een deel van deze woningen worden door de gemeente aangekocht ten behoeve van de ontwikkeling van de Energieweg.

Verkeersituatie

In Nijmegen-West zijn een drietal hoofdwegen. Dit zijn de Neerbosche weg, de Energieweg en de Industrieweg. Het merendeel van het verkeer maakt gebruik van deze wegen (gemeente Nijmegen, 2003). In tabel 3 is de verkeerintensiteit weergegeven.

Tabel 3: Top 3 van wegen met de grootste verkeersintensiteit in Nijmegen-West

Wegvakken	Verkeersintensiteit per weghelft
Neerbosche weg*	20.000 tot 22.000 bewegingen
Energieweg*	10.500 tot 15.000 bewegingen
Industrieweg*	10.000 tot 11.000 bewegingen

*Het betreft hier een aantal wegvakken van deze weg

Uit de tabel blijkt dat de Neerbosche weg de meeste verkeersbewegingen krijgt te verwerken. Op ruime afstand gevolgd door de Energieweg. De Neerbosche weg is een hoofdontsluiting van de hele stad.

Groen, blauw en recreatie

De huidige groenstructuur bestaat grofweg uit drie elementen:

- middenberm;
- westelijke zijberm;
- oostzijde.

De middenberm bestaat uit een 3.80 meter brede zone met gras en zomereiken (*Quercus robur*) in een lijnbeplanting. De middenberm blijkt een slechte groeiplaats voor deze zomereiken getuige de slechte staat waarin deze bomen verkeren. Dit komt o.a. door een sterke ontwatering, weinig bewortelbare ruimte en een hoge concentratie (strooi)zout.

De Westelijke zijberm bestaande uit een smalle (ca. 1 meter) strook gras. Ecologisch gezien heeft deze berm nauwelijks waarde.

De oostzijde bestaat uit een zijberm, met soms groene kavelafscheidings en of een ontwateringsloot. De oostzijde is relatief waardevol. De breedte varieert van 1 meter tot zo'n 4 meter. De beplanting bestaat grotendeels uit gras met een andere beplantingslaag erboven. Deze beplantingslaag is afwisselend en bestaat vaak uit zomereiken (*Quercus robur*), paardekastanje (*Aesculus hippocastanum*) en/of haagbeuken (*Carpinus betulus*).

De afwateringsloot is ongeveer 2 meter diep en heeft steile hellingen waardoor de breedte ongeveer 3 meter is. Ecologisch gezien heeft de ontwateringsloot weinig waarde door de sterke vervuiling (o.a. zwerfvuil en olie). Bodemkaarten van het grondgebied zijn niet beschikbaar. De Energieweg ontsluit de naastgelegen sportvelden. De Energieweg heeft geen recreatieve functie.

4.3 Luchtkwaliteit bij de Energieweg

Op en rondom de Energieweg spelen verschillende milieuproblemen. Dit onderzoek richt zich op de luchtkwaliteit en met name op fijn stof. Andere milieuproblemen vallen buiten de scope van dit onderzoek. Om die milieuproblemen te ondervangen is nader onderzoek nodig.

In 2001 is onderzoek gedaan naar de luchtkwaliteit in de gemeente Nijmegen (Gemeente Nijmegen, 2003). Van de gemeentelijke wegen wordt op 303 wegvakken de grenswaarde van het jaargemiddelde van fijn stof overschreden. In Nijmegen spitsen de fijn stof problemen zich toe op de Energieweg en de Graafseweg. Ook op de St-Annastraat is de concentratie fijn stof hoog. De Graafseweg en de St-Annastraat liggen buiten het plangebied. Op de Graafseweg en de Energieweg wordt de plandrempel overschreden (zie tabel 4). Dit wil zeggen dat de gemeente verplicht is om een plan van aanpak voor de betreffende weg(delen) op te stellen.

Tabel 4: Top 3 van wegen met de grootste problemen met fijn stof

Wegvakken	Grenswaarde	Plandrempel	Concentratie	Situering
Graafseweg*	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	46 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	49 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Buiten plangebied
Energieweg*	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	46 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	46 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Binnen plangebied
St.-Annastraat*	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	46 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Buiten plangebied

*Het betreft hier een aantal wegvakken van deze weg

Naast overschrijdingen van de grenswaarde van fijn stof, wordt op de Graafseweg ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) en de Energieweg ($52 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ook de grenswaarde van NO_2 ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$) het overschreden. Deze waarden bevinden zich echter nog wel onder de plandrempel ($58 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Benzeen en koolmonoxide overschrijden de grenswaarden niet en vormen derhalve geen probleem (Gemeente Nijmegen, 2003).

4.4 De Energieweg in de Toekomst

De ontwikkeling van Nijmegen-West is integraal opgepakt onder de noemer Koers-West. Dit plan rust op drie pijlers:

- herinrichting van de bedrijventerreinen;
- ontwikkeling van een prettig woon- en werkmilieu aan de Waal (Waalfront), waarbij een eigentijdse combinatie van wonen en werken aan het water wordt gezocht;
- aanleg van een tweede stadsbrug.

De integrale aanpak van deze drie projecten moet winst gaan opleveren voor economie, milieu en woon- en werkomgeving.

Ontwikkeling van een prettig woonmilieu

De ontwikkeling van het Waalfront heeft geen gevolgen voor de Energieweg. Dit, omdat het te ver van elkaar verwijderd is (Zie figuur 9). Park-West daarentegen wordt een groene zone ten oosten van de Energieweg. In deze zone is naast woningen ook veel groen aanwezig. Met Park-West wordt het groene karakter versterkt. Daarnaast worden daar waar mogelijk ook grotere groenobjecten zoals bossen en parken aangelegd.

Aanleg van een tweede stadsbrug

In september 2004 is de MER van de tweede Waalbrug afgerond. De aanleg van de Tweede Waalbrug leidt tot meer verkeer op de Energieweg, Industrieweg en Tunnelweg. Door de komst van deze brug neemt het sluipverkeer op de oost-

westverbindingen (bijv. Industrierweg) af. Deze ruimte wordt weer opgevuld door verkeer dat de brug probeert te bereiken. Een substantiële afname van verkeersbewegingen wordt niet direct verwacht, maar een betere bereikbaarheid c.q. doorstroming wel. In Nijmegen Oost wordt wel een afname van het verkeer verwacht (Tauw, 2004).

Herinrichting van de bedrijventerreinen

Het bedrijventerrein NOK in Nijmegen-West ondergaat een revitalisering. Deels betekent dit een herinrichting. Dit bedrijventerrein ligt nu ten oosten en ten noorden van de Industrierweg. De ruimte wordt door de herinrichting beter en optimaler gebruikt. De uitstraling van het bedrijventerrein verbetert. De Energieweg krijgt hierdoor ook een verbeterde uitstraling. De herinrichting kan ook zorgen voor meer verkeer van en naar het bedrijventerrein toe. Dit zal dan over de Energieweg gaan omdat dit een van de belangrijkste ontsluitingswegen is (zie figuur 9).

4.5 Deelconclusie

Ondanks dat er drukke wegen zijn in Nijmegen-West, spitst het probleem met fijn stof zich met name toe op de Energieweg. Momenteel bevindt de concentratie fijn stof zich al boven de plandrempel. De grootste oorzaak van de te hoge concentratie is de hoeveelheid verkeer. Deze zal door de komst van een Tweede Waalbrug en de herinrichting van het aangrenzende bedrijventerrein verder toenemen.

Langs het bestaande profiel van de Energieweg is geen ruimte om een groenstructuur aan te leggen. De ruimte is op meerdere plaatsen ook te beperkt om een veilige verkeerssituatie te realiseren waardoor grondverwerving noodzakelijk is. De te verwerven ruimte kan tegelijkertijd voor een veilige verkeerssituatie en een betere stofafvang worden ingericht. Hierbij moet wel rekening gehouden worden met o.a. kabels en leidingen, maar nader onderzoek is hiervoor noodzakelijk.

5 Mogelijkheden rond de Energieweg

5.1 Na te streven doelen

Om een groenstructuur te ontwerpen voor een verlaging van de concentratie fijn stof, is het van belang om te weten waar de reductie gewenst is. Rondom de Energieweg is dit in eerste instantie een reductie fijn stof uitstoot vanaf de Energieweg naar de aangrenzende woonwijken. Ook is het gewenst om op het fiets- en voetpad aan de oostzijde van de rijbanen een reductie te bewerkstelligen.

5.2 Mogelijkheden voor bescherming woonwijk

De bewoning is op veel plaatsen relatief ver verwijderd van de Energieweg. Dit betekent dat de lucht homogeen is. Bij homogene lucht is het het meest zinvol om de groenstructuren dicht tegen het te beschermen object aan te leggen. Dit betekent dat voor deze bewoning niet de groenstructuur aan de Energieweg aangepast moet worden, maar de groenstructuur grenzend aan de tuinen van de bewoners.

Op twee plaatsen ligt de bewoning dicht op de Energieweg. Daar is de lucht nog niet homogeen. Voor deze plaatsen geldt dat de afstand tussen de bewoning en de groenstructuur groter moet zijn. De precieze afstand is nog niet aan te geven, (zie paragraaf 3.2). Een deel van deze bewoning moet in ieder geval wijken voor de herontwikkeling van de Energieweg, waardoor de afstand van de weg tot de rest van de woningen groter kan worden.

Uit veldbezoek blijkt dat de afscherming door de bewoners zelf al grotendeels is verzorgd op hun eigen terrein. Toch zijn er plaatsen waar deze groenstructuur onvolledig is (figuur 5, onder). Bovendien is het soortgebruik suboptimaal. In de strook grenzend aan de tuinen van de bewoners kan de gemeente zorgen voor een optimalere groenstructuur door gebruik te maken van struiken. Soorten die hiervoor in aanmerking komen, zijn in tabel 5 weergegeven. (Zie ook bijlage 2).

Tabel 5: Geschikte soorten voor een struiklaag om fijn stof af te vangen

soort	latijn	Kenmerken (blad)	groenblijvend
Taxus	<i>Taxus baccata</i>	Naaldsoort	+
Bergden	<i>Pinus mugo</i>	Naaldsoort	+
Gewone wilg	<i>Salix alba</i>	Goed	-
Framboos	<i>Rubus idaeus</i>	Goed	-
Wilde lijsterbes	<i>Sorbus Aucuparia</i>	Goed	-
Rode kamperfoelie	<i>Lonicera xylosteum</i>	Goed	-
Sporkehout	<i>Rhamnus frangula</i>	Goed	-
Wilde liguster	<i>Ligustrum vulgare</i>	Redelijk	+
Palmboompje (Buxus)	<i>Buxus sempervirens</i>	Redelijk	+
Klimop	<i>Hedera helix</i>	Redelijk	+
Gewone braam	<i>Rubus fruticosus</i>	Redelijk	+
Rhododendron	<i>Rhododendron spec.</i>	Matig	+
Hulst	<i>Ilex aquifolium</i>	Matig	+

5.3 Mogelijkheden voor bescherming fietspad

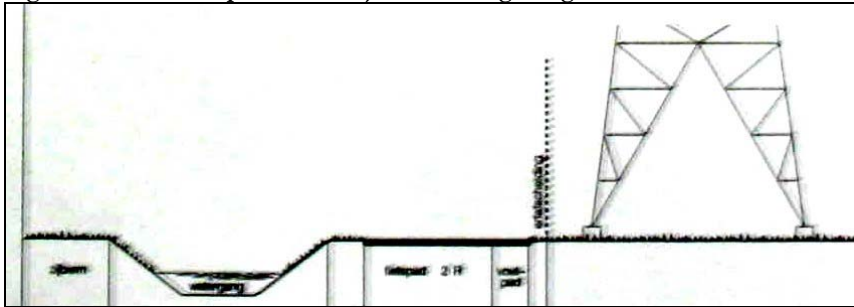
Voor de bescherming van het fietspad en de sportvelden is het van belang om evenals bij de bewoning nabij de Energieweg de afstand tussen de groenstructuur en het fietspad groot te maken. De lucht is immers nog niet homogeen waardoor het fijn stof bij de groenstructuur gehouden wordt.

Voorkeursprofiel

Zoals op het profiel Noord te zien is (bijlage 1) ligt tussen de ontwateringsloot en de weg een berm, een fietspad en een voetpad. In het zuidelijk profiel ligt het fietspad tegen de weg aan.

Uitgaande van het feit dat grondverwerving noodzakelijk lijkt voor een veilige situatie, zijn er mogelijkheden om het geheel breder op te zetten. In onderstaand figuur is de gunstigste opbouw oostzijde van de Energieweg weergegeven. In het zuidelijk deel ligt geen ontwateringsloot, daar zal een bredere berm noodzakelijk zijn. Op de tekening is de breedte van de zijberm te miniem.

Figuur 10: Voorkeursprofiel oostzijde van Energieweg



Door de ontwateringsloot (c.q. bredere zijberm) tussen het fietspad en de rijbaan te leggen, wordt meer ruimte gecreëerd voor de groenstructuur en het turbulentiegebied. Afhankelijk van de hoogte van de groenstructuur kan in deze voorgestelde situatie het fiets- en voetpad in de concentratieverlagende zone liggen.

Door een gelaagdheid in de groenstructuur aan te brengen, kan een poreuze barrière gemaakt worden. Voor de soort struiken worden in tabel 5 mogelijkheden gegeven, voor boomsoorten zie tabel 6 (zie ook bijlage 2). Aan de kruidlaag worden dezelfde eisen gesteld als aan de boom- en struiklaag. De bijdrage van de kruidlaag is relatief klein door het kleine bladoppervlak. Nader onderzoek naar de locatie specifieke kenmerken en naar de geschiktheid van soorten is noodzakelijk om een uitspraak over de kruidlaag te doen.

Tabel 6: Geschikte soorten voor boomlaag om fijn stof af te vangen

soort	Latijn	Kenmerken (blad)	groenblijvend
Grove den	<i>Pinus sylvestris</i>	Naaldsoort	+
Fijn spar	<i>Picea abies</i>	Naaldsoort	+
Europese Lariks	<i>Larix decidua</i>	Naaldsoort	-
Corsicaanse den	<i>Pinus nigra</i>	Naaldsoort	+
Taxus	<i>Taxus baccata</i>	Naaldsoort	+
Bergden	<i>Pinus mugo</i>	Naaldsoort	+
Gewone wilg	<i>Salix alba</i>	Goed	-
Sporkehout	<i>Rhamnus frangula</i>	Goed	-
Zachte berk	<i>Betula pubescens</i>	Goed	-
Zomereik	<i>Quercus robur</i>	Goed	-
Gewone esdoorn	<i>Acer pseodoplatanus</i>	Goed	-
Vogelkers	<i>Prunus Padus</i>	Goed	-

De groenstructuur werkt optimaal indien deze over de hele lengte van de Energieweg wordt aangelegd. Bij de breedte en hoogte moet rekening gehouden worden met de ruimte die aanwezig is voor de groenstructuur. Bovendien moet bij een niet homogene lucht rekening gehouden worden met de mogelijkheden van de afstand tussen de weg en het fiets- en voetpad. Hoe hoger de groenstructuur, hoe groter het gebied achter de groenstructuur is waar de stroomsnelheid verminderd en de depositie en turbulentie toeneemt. Schattingen lopen uiteen van 1 tot 5 maal de hoogte waarbinnen de stroomsnelheid daalt. Mogelijk ontstaat turbulentie die de concentratie fijn stof verhogen. Bij hogere barrières dicht bij een bron ligt de zone met een verminderde concentratie fijn stof verder weg. (Wesseling, 2004)

5.4 Verwachte resultaten

Het is niet mogelijk om concrete cijfers te geven over de mate van buffering van een groenstructuur. Dit is afhankelijk van te veel factoren, zoals de precieze samenstelling van de groenstructuur (soorten), de weersgesteldheid en de kwaliteit van het onderhoud. Daarbij zijn er nauwelijks praktijkproeven uitgevoerd en is er (nog) onvoldoende vergelijkingsmateriaal. Modelstudies zijn nog niet goed in staat om zowel de kenmerken van de vegetatie, kenmerken van (de verschillende) groenstructuren en de luchtstroming te combineren (Wesseling, 2004).

5.5 Deelconclusie

Een concentratieverlaging van fijn stof is gewenst in de woonwijk, op het fiets- en voetpad langs de oostzijde van de Energieweg. De luchtstroom in de woonwijk is homogeen. Groenstructuren dienen daarom dicht bij de woonwijk gesitueerd te zijn. De tuinen dienen momenteel goed als buffer, maar zijn op sommige plaatsen onvolledig. Het is mogelijk om door struikbeplanting verbeteringen aan te brengen. Dichter bij de Energieweg is de lucht niet homogeen. Daarvoor geldt dat de afstand tussen het te beschermen object en de groenstructuur groter moet zijn. Precieze gegevens zijn hiervoor niet beschikbaar. De herontwikkeling van de Energieweg biedt mogelijkheden, maar grondverwerving is dan wel noodzakelijk. Het is nog niet mogelijk om een goede schatting te maken van het beoogde effect van groenstructuren als buffer.

6 Discussie

6.1 Stromingsleer versus filter-effect

In de literatuur zijn nog kennisleemten over de werking van groenstructuren als buffer. Met name is er onduidelijkheid omtrent de verhouding tussen de snelheidsdemping van de luchtstroom en de afvangst van fijn stof. Ook zijn er verschillende opvattingen over de plaats waar een concentratieverlagend effect op treedt. De onduidelijkheid wordt versterkt door schijnbaar tegenstrijdige informatie omdat geen van de onderzoeken alle aspecten heeft meegenomen. Verder zijn er weinig praktijkvoorbeelden. Weliswaar zijn er gegevens over de afvangst en dergelijke, maar hierbij is niet de luchtstroming (o.a. snelheid) meegenomen. Inzake deze onduidelijkheden is het noodzakelijk om praktijkvoorbeelden te zoeken en daarbij onderzoek naar meerdere aspecten te doen en niet alleen te richten op een deel van de principes. Met de kennis van dit moment lijkt het gerechtvaardigd om voornamelijk ervan uit te gaan dat de resultaten van de afvang van fijn stof door groenstructuren positief is. Gevolg van de onduidelijkheden is dat op het ruimtelijk ordeningsvlak weinig handvatten zijn om inrichtingsmaatregelen te nemen die zonder twijfel een positief effect hebben.

6.2 Loofbomen voor NO_x, naaldbomen voor fijn stof.

Deze rapportage heeft zich beperkt tot de concentratie fijn stof. Hoge concentraties fijn stof gaan vaak hand in hand met hoge concentraties NO₂. Voor beide geldt dat verkeer een van de hoofdveroorzakers is. Ook de concentratie NO₂ kan door groenstructuren worden verminderd. Uit diverse onderzoeken is gebleken dat gasvormige luchtverontreiniging kan worden opgenomen door groenelementen (o.a. Beckett, 2000a; Nowak, 2000). Gasdeeltjes worden door de huidmondjes van loofbomen opgenomen. Loofbomen nemen NO₂ beter op dan naaldbomen. Met deze wetenschap kan een groenstructuur geoptimaliseerd worden door een combinatie van zowel naald- als loofbomen te gebruiken. Natuurlijk moet wel in ogenschouw genomen worden dat je niet van de een op het andere moment een optimale groenstructuur kunt creëren en deze telkens aan de samenstelling van de luchtvervuiling kunt aanpassen. De vegetatie moet zich kunnen ontwikkelen.

6.3 Verdere afbakening was noodzakelijk

Uit voorgaande hoofdstukken blijkt dat maatwerk van belang is bij de ontwikkeling van groenstructuren als buffer tegen een te hoge concentratie fijn stof. Er kan niet simpel een blauwdruk worden ontwikkeld. Het plangebied besloeg oorspronkelijk zo'n 250 hectare. Gedurende het onderzoek is gebleken dat het te hoog is gegrepen om voor heel Nijmegen-West een plan te maken. Een verdere afbakening van het onderzoeksgebied was noodzakelijk om binnen de gestelde tijd een steekhoudend plan te schrijven.

Gekozen is om in eerste instantie te richten op de Energieweg, omdat in dit deel van Nijmegen-West de problemen met fijn stof het grootst zijn. Een plan voor groenstructuren om fijn stof af te vangen is hier het meest urgent. Bovendien is de herontwikkeling van de Energieweg reeds in volle gang, dit in aanloop op de bouw van de Tweede Waalbrug. De planvorming in de rest van Nijmegen-West is minder ver gevorderd of minder urgent.

6.4 Relaties met andere ontwikkelingen

Tijdens dit onderzoek is het diverse malen wenselijk geweest om over de rand van dit onderzoek te kijken, zodat een concreter advies te geven. Bijvoorbeeld de gevolgen van een mogelijke waterpeilverhogingen in het Maas-Waalkanaal. Hier wordt momenteel onderzoek naar gedaan door het Waterschap. Een peilverhoging heeft invloed op de waterhuishouding rondom de Energieweg en daarmee op de groeiomstandigheden van de vegetatie en op de dimensionering van de ontwateringsloot. De benodigde tijd om dit in voldoende mate te onderzoeken en mee te nemen in het onderzoek ontbrak. Binnen de beschikbare tijd en de scope van dit onderzoek is geprobeerd zoveel mogelijk rekening gehouden met dergelijke ontwikkelingen.

Gevolg van het op elkaar ingrijpen van ontwikkelingen is dat bij de daadwerkelijke inrichting van de Energieweg aanvullend onderzoek noodzakelijk is.

6.5 Wikken en wegen voorafgaand aan de aanleg

Groenstructuren kunnen de concentratie fijn stof doen dalen. Bij de aanleg van groenstructuren spelen allerlei andere aspecten mee waardoor in iedere situatie een andere keuze noodzakelijk kan zijn. Aspecten die bij de overwegingen meespelen zijn bijvoorbeeld de beheerbaarheid van de groenstructuur, de verkeersveiligheid, de sociale veiligheid, de natuurwaarde en de esthetische waarde. Op ieder moment zal een afweging gemaakt worden tussen het nut en de noodzaak. Een nadeel is dat de effecten van de groenstructuren momenteel nog niet goed duidelijk zijn. Wel zijn er aanwijzingen, maar geen concrete modellen, goede voorbeelden of berekenmethoden die voorafgaand aan de aanleg het effect weergeven. Een ander nadeel is dat een groenstructuur op het moment van aanleg niet volledig volgroeid is, omdat vaak begonnen wordt met jonge aanplant. Hierdoor is het effect vaak pas op termijn goed meetbaar.

7 Conclusies en aanbevelingen

7.1 Conclusies

Ten aanzien van fijn stof:

Fijn stof bedreigt in te hoge concentraties de gezondheid. Jaarlijks sterven er ongeveer 3000 mensen eerder als gevolg van fijn stof. Binnen Europa zijn in Noordwest-Europa de concentraties fijn stof het hoogst. Vooral in en om de Rotterdamse haven zijn de concentraties hoog, maar ook in de omgeving van Nijmegen zijn de concentraties van fijn stof hoog. De aanwezigheid van diverse snelwegen en het industrieterrein NOK draagt hier aan bij. In Europees verband zijn in 1999 normen opgesteld voor fijn stof en Nederland heeft zich hieraan geconformeerd. De concentraties in Nijmegen-West, met name rondom de Energieweg bevinden zich rond de plandrempel.

Ten aanzien van groenstructuren:

Poreuze groenstructuren werken beter dan gesloten of onvolledige groenstructuren. Het is van belang om turbulentie in de groenstructuur te krijgen daarom zijn ruwheid, randeffecten en porositeit van de groenstructuur van belang. Daarnaast is het van belang om zoveel mogelijk lucht door de barrière te laten stromen. Hiervoor zijn hoogte, gelaagdheid, afstand tot de bron en wederom porositeit belangrijk.

Vegetatie is in staat om effectief fijn stof af te vangen zonder dat deze weer in de lucht komen. Hierbij werken bomen beter dan lagere planten. Naaldbomen zijn effectiever in het afvangen van fijn stof dan loofbomen, maar loofbomen nemen beter NO₂ op.

Ondanks de onduidelijkheden en twijfels lijkt het vooralsnog gerechtvaardigd om ervan uit te gaan dat het afvangen van fijn stof door groenstructuren werkt.

Ten aanzien van de situatie rondom de Energieweg:

Ondanks dat er drukke wegen zijn in Nijmegen-West, spitst het probleem met fijn stof zich toe op de Energieweg. Momenteel bevindt de concentratie fijn stof zich al boven de plandrempel. De grootste oorzaak van de te hoge concentratie fijn stof op de Energieweg is het verkeer. Deze zal door de komst van een Tweede Waalbrug en de herinrichting van het aangrenzende bedrijventerrein verder toenemen. Met Park-West wordt het groene karakter van naastgelegen woonwijk versterkt. Langs het bestaande profiel van de Energieweg is geen ruimte om een groenstructuur aan te leggen. De ruimte is op meerdere plaatsen te beperkt om een veilige verkeerssituatie te realiseren. Grondverwerving is noodzakelijk. Vanuit verkeerskundig oogpunt is een zijberm van circa 5m gewenst. Deze ruimte is voldoende om ook een groenstructuur in aan te leggen. Hierbij moet wel rekening gehouden worden met onder andere kabels en leidingen, nader onderzoek is hiervoor noodzakelijk.

Ten aanzien van de mogelijkheden:

Er zijn rondom de Energieweg mogelijkheden om gebruik te maken van groenstructuren als buffer tegen fijn stof. Bomen en struiken in tuinen van particulieren beschermen de woonwijk al voor een deel. Deze groenstructuren vormen thans een onvolledige barrière. Door aanleg van de juiste struiken bij bestaand particulier groen kan een gelaagde groenstructuur ontstaan. Deze aanleg van struiken kan plaatsvinden op grondgebied van de gemeente.

De bescherming van fietsers, voetgangers en bewoners vlak langs de weg is lastiger. De groenstructuur komt vlak bij de weg te liggen. Deze groenstructuur zorgt er voor dat het fijn stof in en rondom de groenstructuur blijft hangen. Hierdoor moet het fiets- en voetpad verder van de groenstructuur af aangelegd worden. Binnen het bestaande profiel is geen ruimte, maar grondverwerving is ook vanuit verkeerskundig en veiligheidsaspect noodzakelijk. Hier kan handig op ingespeeld worden. Door gebrek aan vergelijkingsmateriaal en omdat de definitieve keuze voor de invulling van de groenstructuren nog gemaakt moet worden, is het niet mogelijk om een goede schatting te maken van het effect van groenstructuren als buffer.

7.2 Aanbevelingen

Nader onderzoek noodzakelijk

Gedurende dit onderzoek zijn er op verschillende punten kennisleemtes gesignaleerd. Deze kennisleemtes maken het dat de conclusies niet keihard zijn. Nader onderzoek is op verschillende schaalniveaus noodzakelijk:

- kennis in het algemeen, dit onderzoek moet minimaal op nationaal niveau en mogelijk op internationaal niveau verder ontwikkeld worden. Het betreft hier de verhouding tussen het filtereffect en de snelheidsdemping van de lucht. Met name waar dit leidt tot een hogere en waar tot een lagere depositie van het fijn stof. Ook is het aanbevelenswaardig om door middel van praktijkonderzoek concretere informatie te krijgen over de mate van afvang door groenstructuren;
- kennis in Nijmegen, binnen de gemeente moet voor de aanleg van de groenstructuren eerst nader gebiedsonderzoek worden verricht. Met name de huidige situatie moet goed in beeld gebracht worden. Binnen de gemeente is de kennis om deze leemtes in te vullen aanwezig, maar nog niet altijd even goed ontsloten. Een voorbeeld hiervan zijn de groeiplaatsomstandigheden, bodemopbouw en kabels en leidingen. Gegevens hierover hebben gevolgen voor de geschiktheid van soorten.

Wel of niet aanleggen?

Groenstructuren kunnen werken als afvang van fijn stof. Toch zijn er nog veel onduidelijkheden. Het strekt tot de aanbeveling om in eerste instantie een pilot uit te voeren waarbij de resultaten gemonitord worden alvorens en masse de hele stad vol te zetten met groenstructuren om fijn stof af te vangen. In de monitoring moet duidelijk worden wat de bijdrage van groenstructuren is aan de reductie van concentratie fijn stof. Ook moet de windsnelheid, windrichting en de kenmerken van de groenstructuur meegenomen worden.

Wat en waar aanleggen?

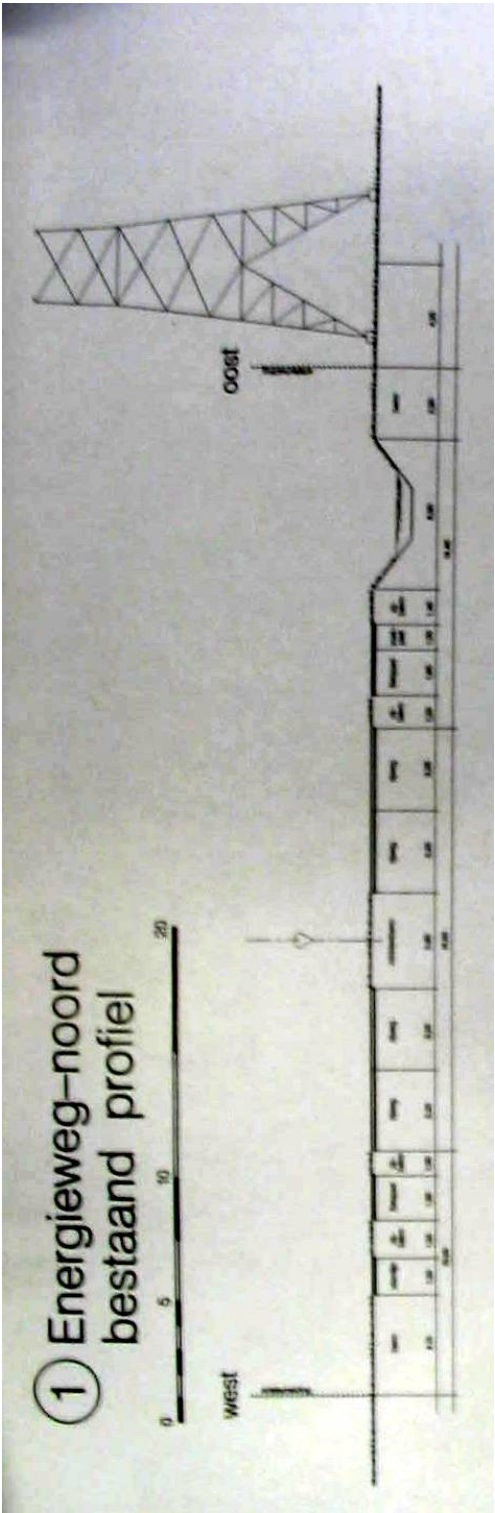
Groenstructuren kunnen bij een homogene lucht het beste vlak bij het te beschermen object aangelegd worden. Bij een niet homogene lucht (vlak bij bronnen) is een zekere afstand tussen de groenstructuur en het te beschermen object aan te bevelen omdat direct achter de groenstructuur een verhoogde concentratie fijn stof kan ontstaan.

Literatuur

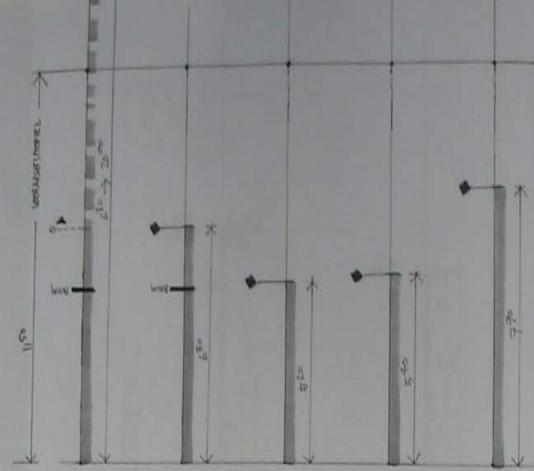
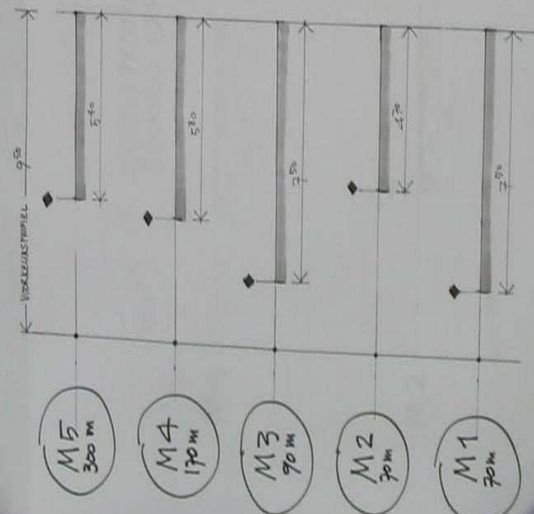
- 1 Beckett, K.P., P.H. Freer-Smith & G. Taylor, 1998. *Urban woodlands: Their role in reducing the effects of particulate pollution*. Environmental Pollution 99: 347-360.
- 2 Beckett, K.P., P.H. Freer-Smith & G. Taylor, 2000a. *Effective tree species for local air-quality management*. Journal of Arboriculture 26: 12-19.
- 3 Beckett, K.P., P.H. Freer-Smith & G. Taylor, 2000b. *The capture of particulate pollution by trees at five contrasting urban sites*. Arboricultural Journal 24: 209-230.
- 4 Bradshaw, A., B. Hunt & T. Walmsley, 1995. *Trees in urban landscape: principles and practice*. E & FN Spon, London.
- 5 Buringh, E., & A. Opperhuizen, 2002. *On health risks of ambient PM in the Netherlands*. RIVM, Bilthoven. Rapport 650010032
- 6 Claessen, A.J.H.G., 2005. Gemeente Nijmegen, prive mededeling, 2005.
- 7 DMCR, Milieudienst Rijnmond, 2003. *Het milieu in de regio Rotterdam 2003*. Schiedam.
- 8 EMEP, 2001. *Modelling of particulate matter in EMEP*. Gedownload via: http://www.emep.int/aerosol/aerosol_descr.html
Geraadpleegd: op 16 december 2004
- 9 EU, 1999. *Richtlijn 1999/30/EG van de raad van 22 april 1999 betreffende grenswaarden voor zwaveldioxide, stikstofdioxide en stikstofoxiden, zwevende deeltjes en lood in lucht*. (Eerste dochterrichtlijn). Publicatieblad van de Europese Gemeenschappen No L 163/41. Gedownload via: http://europa.eu.int/eur-lex/pri/nl/oj/dat/1999/l_163/l_16319990629nl00410060.pdf
Geraadpleegd op: 16 december 2004
- 10 Franzaring, J. & C.J. van Dijk, 2000. *A feasibility study on the potential use of buffer plantings as pollutant traps of emissions from livestock farming*. Plant Research International, Wageningen. Nota 33.
- 11 Gemeente Nijmegen, Bureau Industrie, 2003. *Rapportage Besluit Luchtkwaliteit 2001*. Nijmegen.
- 12 GGD Regio Nijmegen, 1996. *gezondheid en luchtkwaliteit in het gebied Beuningen/Nijmegen*. Nijmegen.
- 13 Kartoview, 2003. *Gemeenteplattegrond Nijmegen 2003-2004*. Amsterdam. 2e editie.
- 14 McPherson, G., 1990. *Creating an ecological landscape*. In: Rodbell, P.D. (ed.), *Make our cities safe for trees. Proceedings of the fourth urban forestry conference*. The American Forestry Association, Washington D.C.
- 15 Nowak, D.J., et al., 2000 *Brooklyn's Urban Forest*. USDA Forest Service. General Technical Report NE-290.
- 16 Nowak, D.J., 1994. Air pollution removal by Chicago's urban forest. In: McPherson, E.G., Nowak, D.J., Rowntree, R.A. (eds.). *Chicago's Urban Forest Ecosystem: Results of the Chicago Urban Forest Climate Project*. USDA Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station. General Technical Report NE 186.
- 17 Pye, K., 1987. *Aeolian dust and dust deposits*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

- 18 Raad van State, 2004. *Afdeling Bestuursrechtspraak: het college van gedeputeerde staten van Noord-Holland; Proceduresoort: Voorlopige voorziening; Rechtsgebied: Kamer 1 - RO - Noord-Holland.*
Zaaknummer 200400323/2; vrijdag 11 juni 2004
- 19 Raupach, M.R., & J.F. Leys, 1999. *The efficacy of vegetation in limiting spray drift and dust movement.* Techn. Report CSIRO.
- 20 RIVM, 2002. *Jaaroverzicht luchtkwaliteit 2001.* RIVM, Bilthoven.
Rapportnummer 725301009
- 21 RIVM, 2003. Gedownload via:
<http://www.rivm.nl/milieuenatuurcompendium/nl/i-nl-0340-05.html>
geraadpleegd op: 16 december 2004
- 22 Schweikle, V., 1999. *Schadstoffgehalte an landgebundenen Verkehrswegen.* Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe, Duitsland.
p1-38
- 23 Steward, et al. jaar onbekend. *Trees and sustainable urban air quality.* Brochure, Lancaster University and Centre for Ecology and Hydrology, Lancaster, UK.
- 24 Tauw, 2003. *Uitvoeringsprogramma Verbetering Luchtkwaliteit Nijmegen 2004-2007.* Tauw, Deventer/Nijmegen. In opdracht van: Gemeente Nijmegen.
- 25 Tauw, 2004. *MER Stadsbrug Nijmegen Milieueffectrapport, Hoofdrapport.* Tauw, Deventer/Nijmegen. In opdracht van: Gemeente Nijmegen.
- 26 Tonneijck, A.E.G., & M. Blom-Zandstra, 2002. *Landschapselementen ter verbetering van de luchtkwaliteit rond de Ruit van Rotterdam. Een haalbaarheidstudie.* Plant Research International, Wageningen. Nota 152.
- 27 Wesseling, J.P., & G.Th. Visser, 2003. *"An inter comparison of the TNO Traffic Models, Field Data and Wind Tunnel Measurements".* Proceedings
PHYSMOD2003 conference, September 2003 Prato, Italie. R2003/207.
- 28 Wesseling J.P., et al., 2004. *Effecten van groenelementen op NO₂ en PM₁₀ concentraties in de buitenlucht* TNO Milieu, Energie en Procesinnovatie, Apeldoorn.
R2004/383.

Bijlage 1 Profielen.



ENERGIEWEG - MIDDEN ① BESTAANDE PROFIELEN M1/5



Bijlage 2 Relevante eigenschappen van inheemse soorten

Tabel 1.1. Inheemse soorten die algemeen voorkomen in bossen en bogen, en relevante eigenschappen (gecijferd naar Franzaring & Van Dijk, 2000).

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

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

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

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

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