

RIJKSINSTITUUT VOOR VOLKSGEZONDHEID EN MILIEU
BILTHOVEN

Rapport nr. 715651 002

De milieu-effecten van verstedelijking
Literatuurstudie en synthese

J.F.M. van der Waals

mei 1997

Dit onderzoek werd verricht in opdracht en ten laste van de Directie van het RIVM in het kader van het project Milieu en Ruimte, projectnr. 715651.

Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Postbus 1, 3720 BA Bilthoven, tel. 030-2749111,
fax 030-2742971

VERZENDLIJST

- 1 Ir. G.C. Bergsma (Centrum voor Energiebesparing en Schone Technologie)
- 2 Ir. P.L. Dauvellier (Dauvellier planadvies)
- 3 Dr. P.P.J. Driessen (Vakgroep Milieukunde Universiteit Utrecht)
- 4 Ir. H. Farjon (SC-DLO)
- 5 Mw. ir. V. Geelen (RPD)
- 6 Prof. dr. P. Glasbergen (Vakgroep Milieukunde Universiteit Utrecht)
- 7 Mw. ir. I. Houtsma (RPD)
- 8 Prof. dr. ir. T.M. de Jong (TU Delft, Faculteit Bouwkunde)
- 9 Ir. H. Kamphuis (RPD)
- 10 Prof. dr. A.M.J. Kreukels (Vakgroep Planologie Universiteit Utrecht)
- 11 Ir. H. van Otterloo (DGM)
- 12 Drs. Th.A.M. Reijs (TNO-INRO)
- 13 Ir. M. Simons (DGM)
- 14 Ir. D. de Smit (DHV-Water)
- 15 Drs. J. van Staalduine (DGM)
- 16 Dr. S.P. Tjallingii (IBN-DLO)
- 17 Drs. S. Langeveld (IBN-DLO)
- 18 Dr. ir. F.H.M. van de Ven (TU Delft, Afdeling Civiele Techniek)
- 19 Dr. C.J. Verdaas (Vakgroep Milieukunde Universiteit Utrecht)
- 20 Ir. J. Verlinden (Centrum voor Energiebesparing en Schone Technologie)
- 21 Ir. E.J. Verroen (TNO-INRO)
- 22 Drs. H. Verspoor (DGM)
- 23 Ing. N. Zuurdeeg (IKC Natuurbeheer)

- 24 Depot Nederlandse Publikaties en Nederlandse Bibliografie
- 25 Directie RIVM
- 26 Prof. ir. N.D. van Egmond
- 27 Ir. F. Langeweg
- 28 Ir. R. van den Berg
- 29 Drs. L.H.M. Kohsiek
- 30 Drs. R.J. van de Velde
- 31 Ir. R.A.W. Albers
- 32 Ing. G.P. Beugelink
- 33 Ing. S.Q. Broerse
- 34 Ir. W. van Duijvenbooden
- 35 Dr. G. den Hollander
- 36 Mw. dr. M.A.J. Kuijpers-Linde
- 37 Ir. A. van der Linden
- 38 Drs. R.J.M. Maas
- 39 Dr. ir. C.R. Meinardi
- 40 Drs. D. Nagelhout
- 41 Drs. R. Reiling
- 42 Drs. K. van Velze
- 43 Drs. J. Wiertz
- 44 Drs. G.P. van Wee

45	Auteur
46	Hoofd Bureau Voorlichting en Public Relations
47	Bureau Rapportenregistratie
48	Bibliotheek RIVM
49-52	Bibliotheek Vakgroep Milieukunde
53-76	Reserve exemplaren ten behoeve van Bureau Rapportenbeheer

VOORWOORD (1)

Deze scriptie is het verslag van een literatuuronderzoek dat ik heb uitgevoerd in het kader van een stage bij het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM) in Bilthoven. Dit onderzoek geldt tevens als mijn afstudeeronderzoek voor de opleiding Milieukunde aan de Universiteit Utrecht.

Aanleiding voor het onderzoek was de toenemende belangstelling voor de relatie tussen milieu en ruimtelijke ordening. Het onderzoek is toegespitst op de milieu-effecten van verstedelijkingsvarianten.

Bij deze wil ik Peter Driessen en Co Verdaas van de Vakgroep Milieukunde en Rob van de Velde en Klaas van Egmond van het RIVM bedanken voor de begeleiding in deze leerzame en plezierige periode. Ook aan allen die informatie hebben verschaft en de concept-teksten hebben becommentarieerd ben ik veel dank verschuldigd.

Jochem van der Waals

Mei 1997

VOORWOORD (2)

Het ontrafelen en, indien mogelijk, kwantificeren van de complexe samenhang tussen de ruimtelijke inrichting van gebieden en de toestand van het milieu mag worden beschouwd als een grote uitdaging voor het toegepaste milieu- en ruimtelijke onderzoek. In dit rapport van Jochem van der Waals, dat een verslag is van een stage-onderzoek, is hiervoor een belangrijke stap gezet door een helder en gestructureerd overzicht te geven van bestaande inzichten over de invloed van verstedelijkingspatronen op de toestand van milieu en natuur. Dit uitstekende overzicht, en in het bijzonder de aanzet om de beschikbare kennis over de milieuthema's te verbinden aan de kennisvragen over de ontwikkeling van de Randstad, geven aanleiding tot een ruime verspreiding van dit rapport.

Rob van de Velde
Coördinator Gebiedsgerichte Integratie

INHOUDSOPGAVE

VERZENDLIJST	2
VOORWOORD (1)	4
VOORWOORD (2)	5
ABSTRACT	8
SAMENVATTING	9
1. INLEIDING	10
1.1 Verstedelijking en milieu	10
1.2 "Stromenbeheer" als concept in de ruimtelijke planning	10
1.3 De stromenbenadering als mogelijk analysekader	11
1.4 Probleemstelling	12
1.5 Werkwijze	13
1.6 Opbouw van het rapport	13
2. THEORETISCH KADER	15
2.1 Inleiding	15
2.1 Verstedelijking	15
2.2 Verstedelijkingsvarianten en milieu-effecten	16
2.3 Inhoud en positionering van de stromenbenadering	19
3. VERSTEDELIJKINGSVARIANTEN	22
3.1 Inleiding	22
3.2 Het huidige verstedelijkingsbeleid	22
3.3 De VERSRING-concepten	23
4. STROMEN EN MILIEU-EFFECTEN	29
4.1 Inleiding	29
4.2 Stromen en milieu-effecten	29
4.3 Conclusie	34
5. VERSTEDELIJKINGSVARIANTEN EN VERKEER	35
5.1 Inleiding	35
5.2 Mobiliteitseffecten van verstedelijkingspatronen en -varianten	35
5.3 Maatschappelijke en technologische ontwikkelingen	46
5.4 Geluidhinder, geurhinder en lokale luchtverontreiniging	49
5.5 Versnippering van leefgebieden van fauna	52
5.6 Bruikbaarheid van het analysekader	56
5.7 Conclusie	56

6.	VERSTEDELIJKINGSVARIANTEN EN WATER	59
6.1	Inleiding	59
6.2	Invloed van verstedelijking op de waterhuishouding	59
6.3	Effecten en maatregelen in verschillende typen gebieden	63
6.4	Waterwinning en verontreiniging van het oppervlaktewater	72
6.5	Bruikbaarheid van het analysekader	76
6.6	Conclusie	78
7.	VERSTEDELIJKINGSVARIANTEN EN ENERGIE, AFVAL EN GRONDSTOFFEN	80
7.1	Inleiding	80
7.2	Energie	80
7.3	Afval	87
7.4	Grondstoffen	88
7.5	Conclusie	90
8.	SYNTHESE	91
8.1	Inleiding	91
8.2	Bruikbaarheid van de stromenbenadering	91
8.3	Vergelijking van verstedelijkingsvarianten	93
8.4	De compacte stad	96
8.5	Aanbevelingen voor nader onderzoek	98
9.	CONCLUSIES	101
	LITERATUUR	103
	LIJST VAN GECONSULTEERDE PERSONEN	111
	BIJLAGEN	112
	Bijlage 1 Kritische ontwerpdimensies	112
	Bijlage 2 Ruimtelijk beeld eenkernige en meerkernige nabijheid en aansluiting op hoogwaardig openbaar vervoer	114

ABSTRACT

Urban activities cause environmental effects like pollution, noise and degradation of ecosystems. Physical planning policies can help to reduce these effects by carefully choosing the locations for new settlements. Urban settlement patterns differ in their effects on the environment. These effects concern traffic, water, possibilities for alternative energy sources and fragmentation of habitats of animals. A compact urban development is positive for the environment, although differences between regions must be taken into account.

SAMENVATTING

Stedelijke activiteiten veroorzaken verschillende milieu-effecten zoals lucht-, water- en bodemverontreiniging, geluidhinder en aantasting van natuur en landschap. Het ruimtelijk beleid kan een bijdrage leveren aan het beperken van negatieve milieu-effecten door de keuze van locaties voor wonen, werken en voorzieningen te beïnvloeden. Ten behoeve van beleid en onderzoek zijn recentelijk diverse verstedelijkingsvarianten ontwikkeld, met verschillende uitgangspunten voor de locatie van nieuwe verstedelijking.

In verschillende rapporten wordt het beheersen van "stromen" gezien als een mogelijke bijdrage van de ruimtelijke ordening aan het beperken van de milieuconsequenties van verstedelijking. Het gaat hierbij om stromen die de stad in- en uitgaan, zoals verkeer, water, energie, grondstoffen en afval. Door kringlopen van deze stromen te sluiten zouden milieu-effecten kunnen worden verminderd. In dit onderzoek stond de vraag centraal in hoeverre de milieu-effecten van verstedelijkingsvarianten aan de hand van stromen kunnen worden geanalyseerd.

Stromen van *verkeer* worden in belangrijke mate door verstedelijkingsvarianten beïnvloed. Zo hebben de afstand tussen nieuwe bouwlocaties en bestaande steden en haltes van openbaar vervoer, de mate waarin functies gemengd zijn en de bebouwingsdichtheid invloed op de omvang van de automobiliteit, en daarmee op emissies van CO₂ en NO_x. De invloed van verstedelijkingsvarianten op verkeersemisies is gevoelig voor diverse maatschappelijke en technologische ontwikkelingen, waardoor de effecten op verkeersemisies op lange termijn onzeker zijn. De locatie van verstedelijking heeft ook invloed op geluidhinder, lokale luchtverontreiniging in de stad en versnippering van natuur en landschap.

Verstedelijking kan ook invloed hebben op *waterstromen*. Verdroging als gevolg van ontwatering en toename van het verharde oppervlak kan echter door technische en stedenbouwkundige maatregelen worden voorkomen. De effecten van verstedelijking op de kwaliteit van grond- en oppervlaktewater en het belang hiervan voor de vergelijking van verstedelijkingsvarianten is onzeker.

Verstedelijkingsvarianten kunnen verder verschillen in hun effecten op *energiestromen*. Hierbij zijn met name de ruimtelijke mogelijkheden voor toepassing van stadsverwarming en kleinschalige warmtekrachtkoppeling van belang.

Wanneer alle milieu-effecten worden vergeleken blijkt uit de geraadpleegde studies dat een sterk gespreide verstedelijking (het "Los Angeles"-model) het meest ongunstig is. Een sterk accent op verdichting binnen bestaande steden is voor veel aspecten ook nadelig. In het algemeen zijn vanuit milieu-oogpunt een zekere nabijheid tot bestaande steden, nabijheid tot haltes van openbaar vervoer, een zekere bundeling en niet te lage dichtheden gunstig. Een te strikt gehanteerde uniforme verstedelijkingsstrategie voor alle gebieden is echter niet gewenst.

1. INLEIDING

1.1 Verstedelijking en milieu

In Nederland is sprake van een toenemende verstedelijking. Door de groei van de bevolking en de economie neemt de behoefte aan woningen, werkgelegenheid, infrastructuur en voorzieningen toe. Deze functies worden voor een groot deel in steden geconcentreerd. De groei en ruimtelijke uitbreiding van stedelijke activiteiten leidt tot verschillende milieu-effecten. In de eerste plaats treden er milieu-effecten op binnen de stad. Met name emissies door het wegverkeer veroorzaken op bepaalde plaatsen hoge concentraties van luchtverontreinigende stoffen, die tot negatieve effecten op de gezondheid kunnen leiden. Ook de kwaliteit van het water en de bodem in steden laat vaak te wensen over. Oude industrieterreinen blijken vaak vervuild te zijn. Andere milieu-effecten in de stad zijn geluidhinder en geurhinder. In de tweede plaats worden door het toenemend ruimtegebruik van stedelijke activiteiten en infrastructuur kwetsbare functies in het landelijk gebied, zoals waardevolle landschappen en natuurgebieden, aangetast en raken leefgebieden van fauna versnipperd. Tenslotte zijn er milieu-effecten buiten de stad, die direct of indirect door stedelijke activiteiten worden veroorzaakt. Hierbij gaat het bijvoorbeeld om vervuiling van lucht en water door in steden gevestigde industrieën, verdroging van ecosystemen door ontwatering of de winning van drinkwater en uitstoot van broeikasgassen door de opwekking van elektriciteit. Milieu-effecten worden niet alleen door de aard van stedelijke activiteiten, maar ook door de locatie ervan veroorzaakt. In het rijksbeleid met betrekking tot de keuze van locaties voor nieuwe verstedelijking, dat is vastgelegd in de Vierde Nota over de Ruimtelijke Ordening Extra (VINEX), wordt dan ook aandacht geschonken aan milieu-aspecten. In de VINEX wordt uitgegaan van het bouwen in en aan de rand van bestaande steden - het compacte stad-beleid - en het open houden van bepaalde open ruimten, waaronder het Groene Hart van de Randstad. Argumenten voor dit verstedelijkingsbeleid zijn onder andere beperking van de mobiliteit en van aantasting van natuur en landschap. In het kader van de zogenaamde actualisering van de VINEX, waarbij locaties voor de periode na 2005 gevonden moeten worden, is recentelijk weer gediscussieerd over de meest gewenste verstedelijkingsrichting. Een belangrijke vraag daarbij is of het compacte stad-beleid moet worden voortgezet of dat verder van bestaande steden en wellicht in een meer gespreide structuur gebouwd zou moeten worden. Ook de positie van het Groene Hart staat regelmatig ter discussie. Ten behoeve van beleid en onderzoek zijn zogenaamde verstedelijkingsvarianten ontwikkeld met elk een specifiek patroon van toekomstige bouwlocaties en verschillende achterliggende principes.

1.2 "Stromenbeheer" als concept in de ruimtelijke planning

In verschillende beleidsnota's en onderzoeksrapporten, waaronder publicaties in het kader van het onderzoeksprogramma Duurzame Ontwikkeling Stedelijke Systemen (DOSS) van de Rijksplanologische Dienst, wordt het beheersen van "stromen", ook wel "stromenbeheer" genoemd, gezien als mogelijke bijdrage van de ruimtelijke ordening aan het oplossen of verminderen van milieu-effecten die het gevolg zijn van verstedelijking (Ministerie van LNV, 1995a; Tjallingii, 1992; Ministerie van VROM, 1994). Volgens Tjallingii (1992) hangen veel milieu-effecten die veroorzaakt worden door stedelijke activiteiten samen met

stromen die de stad in- en uitgaan, zoals energie, grondstoffen, water, afval, luchtverontreiniging en verkeer. Verstedelijkingsprocessen leiden ertoe dat deze in- en uitgaande stromen in volume toenemen. De milieubelasting van de stad wordt via stromen afgewenteld op andere gebieden, hogere schaalniveaus en volgende generaties (Tjallingii, 1992). Door een goed stromenbeheer zou deze afgewenteling kunnen worden verminderd. Eén van de normatieve uitgangspunten in het denken over stromenbeheer is dat stromen zoveel mogelijk moeten beginnen en eindigen in hetzelfde gebied; dit wordt wel het sluiten van kringlopen genoemd. Hierbij kan gedacht worden aan het gebruik maken van bronnen (bijvoorbeeld water, energie, grondstoffen) die in een gebied zelf aanwezig zijn en aan hergebruik of verwerking van afvalstoffen binnen een bepaald gebied. Door kringlopen binnen een gebied zoveel mogelijk te sluiten zouden in- en uitgaande stromen en de daarmee samenhangende milieu-effecten worden verminderd (Ministerie van LNV, 1995a; Ministerie van VROM, 1994). In de literatuur wordt echter niet duidelijk welke kringloop op welk schaalniveau (in welke mate) gesloten dient te worden.

In het kader van de zogenaamde stadsecologie zijn verschillende planologische projecten uitgevoerd waarin het stromenbeheer en het sluiten van kringlopen is uitgewerkt, zoals Voorbeeldplannen in het kader van de Vierde Nota. Een voorbeeld van een dergelijk project is het Schoon Waterplan Utrecht, dat er op gericht is om door de Utrechtse grachten meer kwel- en regenwater uit de eigen regio te laten stromen. Andere voorbeelden van genomen of voorgestelde maatregelen in het kader van de stadsecologie zijn het maken van voorzieningen voor gescheiden opslag van afval, het gebruik van gebiedseigen ophoogzand, het afstemmen van woningbouw op de mogelijkheden voor zonne-energie en het aanleggen van fietsroutes (Deelstra, 1994a en b).

1.3 De stromenbenadering als mogelijk analysekader

Om het verstedelijkingsbeleid te ondersteunen is het van belang om te weten in hoeverre negatieve milieu-effecten kunnen worden beperkt of vermeden door een optimale keuze van locaties voor wonen, werken en voorzieningen. Het is mogelijk dat het denken in stromen en kringlopen aanknopingspunten biedt voor de analyse van milieu-effecten van verstedelijkingsvarianten. De centrale probleemstelling van dit onderzoek is in hoeverre de stromenbenadering zodanig kan worden geoperationaliseerd dat een analyse van de milieu-effecten van verstedelijkingsvarianten mogelijk is. De stromenbenadering wordt daarbij gedefinieerd als *de benadering die de bijdrage van activiteiten binnen de stad aan milieu-effecten binnen en buiten de stad analyseert aan de hand van stromen die de stad ingaan en verlaten*. Onderzocht is niet alleen in hoeverre verstedelijkingsvarianten samenhangen met deze stromen maar ook of het sluiten van kringlopen een bruikbaar principe is om te bepalen welke verstedelijkingsvariant het meest in overeenstemming is met een duurzame stedelijke ontwikkeling. Wellicht kan het sluiten van kringlopen ook op een hoger schaalniveau worden toegepast dan in stadsecologische projecten gebruikelijk is. De onderzochte verstedelijkingsvarianten hebben betrekking op de Stedenring Centraal Nederland, waaronder de Randstad plus de grotere steden in Gelderland en Noord-Brabant wordt verstaan.

1.4 Probleemstelling

De probleemstelling van het onderzoek valt uiteen in een doelstelling en een vraagstelling. De vraagstelling bestaat uit één centrale vraagstelling en drie onderzoeksvragen.

Doelstelling

Het onderzoek heeft als doel het vergroten van het inzicht in de bruikbaarheid van de stromenbenadering voor het analyseren en voorspellen van de milieu-effecten van verschillende verstedelijkingsvarianten.

Vraagstelling

Centrale vraagstelling

In hoeverre kan de stromenbenadering zodanig worden geoperationaliseerd dat een analyse van de milieu-effecten van verschillende verstedelijkingsvarianten mogelijk is?

Onderzoeksvragen

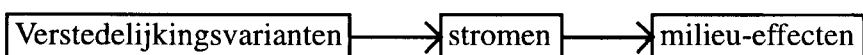
1. Welke stromen spelen een rol in de relatie tussen verstedelijking en milieu en met welke milieu-effecten hangen ze samen?
2. Wat is er bekend over de wijze waarop en de mate waarin verschillende verstedelijkingsvarianten deze stromen beïnvloeden?
3. Is het "sluiten van kringlopen" een bruikbaar uitgangspunt om te bepalen welke verstedelijkingsvariant het meest duurzaam is?

Toelichting

Om de doelstelling van het onderzoek te bereiken, is gestreefd naar de volgende resultaten:

- een antwoord op de vraag welke stromen relevant zijn voor de analyse van de milieu-effecten van verstedelijkingsvarianten. Uit de beantwoording van onderzoeksvraag 1 blijkt welke stromen in het algemeen een rol spelen in de relatie tussen verstedelijking en milieu; uit het antwoord op onderzoeksvraag 2 blijkt welke van deze stromen worden beïnvloed door verstedelijkingsvarianten;
- een overzicht van beschikbare kennis met betrekking tot de milieu-effecten van verstedelijkingsvarianten die samenhangen met deze stromen (onderzoeksvraag 2);
- inzicht in de bruikbaarheid van het kringlooppincipe (onderzoeksvraag 3).

Bij het formuleren van de onderzoeksvragen is uitgegaan van het volgende schema:



Dit schema vormt het analysekader van het onderzoek. De achterliggende gedachte is dat verstedelijkingsvarianten invloed kunnen hebben op de omvang of samenstelling van stromen en daarmee op de omvang van milieu-effecten. De mate van spreiding van de verstedelijking zou bijvoorbeeld de omvang van verkeersstromen kunnen beïnvloeden en de

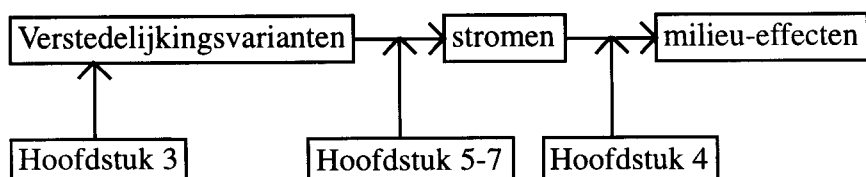
locatie van verstedelijking bepaalt wellicht de plaats waar vervuiling van waterstromen optreedt. In hoofdstuk 2 zal het analysekader nader worden toegelicht.

1.5 Werkwijze

Er is geen eigen empirisch onderzoek verricht maar gestreefd naar een synthese van bestaande kennis op basis van secundaire bronnen. Eerst is onderzocht welke stromen van belang zijn in de relatie tussen verstedelijking en milieu en met welke milieu-effecten ze samenhangen (onderzoeksvraag 1). Hiervoor zijn onder andere beleidsnota's en onderzoeksrapporten over stromen of stromenbeheer (onder andere van de Rijksplanologische Dienst) en publicaties van het RIVM bestudeerd. Daarna is onderzocht wat er bekend is over de wijze waarop en de mate waarin verstedelijkingsvarianten de genoemde stromen beïnvloeden (onderzoeksvraag 2). Hiervoor is gebruik gemaakt van literatuur uit binnen- en buitenland over de relatie tussen specifieke stromen (energie, water, verkeer etc.) en verstedelijking of stedenbouw. Naast literatuurstudie zijn er gesprekken gehouden met medewerkers van het RIVM en van andere onderzoeksinstituten. Tenslotte hebben eigen interpretaties en inzichten een rol gespeeld in het onderzoek, onder andere voor het beantwoorden van onderzoeksvraag 3. In de tekst zijn deze herkenbaar doordat een literatuurverwijzing ontbreekt.

1.6 Opbouw van het rapport

Het rapport bestaat, inclusief de inleiding en de conclusies, uit negen hoofdstukken. De hierboven geschetste werkwijze is in de opbouw van de hoofdstukken terug te vinden. Hoofdstuk 2 is het theoretisch kader, waarin het onderwerp van het onderzoek in een breder kader wordt geplaatst en het analysekader van het onderzoek wordt toegelicht. In hoofdstuk 3 worden de relevante verstedelijkingsvarianten behandeld. In hoofdstuk 4 staan de stromen centraal die relevant zijn voor de analyse van de relatie tussen verstedelijking en milieu. Per stroom worden de ermee samenhangende milieu-effecten beschreven (onderzoeksvraag 1). In de hoofdstukken 5 tot en met 7 wordt de relatie tussen de in hoofdstuk 3 genoemde verstedelijkingsvarianten en de stromen uit hoofdstuk 4 behandeld (onderzoeksvraag 2). Hoofdstuk 5 gaat over verkeersstromen, hoofdstuk 6 over waterstromen en hoofdstuk 7 over de stromen energie, afval en grondstoffen. In deze hoofdstukken wordt aandacht besteed aan de mate waarin en de wijze waarop verstedelijkingsvarianten deze stromen beïnvloeden. In hoofdstuk 5 zal ook versnippering van leefgebieden van fauna aan de orde komen. Hoewel dit niet direct met verkeersstromen te maken heeft, wordt het toch in hoofdstuk 5 behandeld, omdat wel een relatie met infrastructuur gelegd kan worden. De opbouw van de hoofdstukken 3 tot en met 7 wordt met het volgende schema weergegeven:



In hoofdstuk 8 worden de resultaten van de analyses in hoofdstuk 5 tot en met 7 besproken en de gekozen verstedelijkingsvarianten op alle relevante punten met elkaar vergeleken. Hierbij komt de bruikbaarheid van de stromenbenadering aan bod en worden enkele opmerkingen gemaakt over het verstedelijkingsbeleid van de rijksoverheid. Hoofdstuk 9 bevat de conclusies van het onderzoek.

2. THEORETISCH KADER

2.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt het onderwerp van het onderzoek in een breder kader geplaatst en wordt het analysekader ervan nader toegelicht. Eerst zal het begrip verstedelijking worden behandeld. Daarna wordt aan de hand van een schema uitgelegd hoe verstedelijkingsvarianten kunnen leiden tot milieu-effecten. Vervolgens zal de stromenbenadering worden besproken en aan de hand van hetzelfde schema in een bredere context worden geplaatst. Omdat door deze volgorde van behandeling de redenering die ten grondslag ligt aan het analysekader van het onderzoek het beste uiteengezet kan worden, wordt de in hoofdstuk 1 genoemde volgorde (verstedelijkingsvarianten - stromen - milieu-effecten) in dit hoofdstuk niet gevolgd in de opbouw van de paragrafen.

2.1 Verstedelijking

Het begrip verstedelijking of urbanisatie kan op verschillende manieren worden gedefinieerd. Meestal wordt verstedelijking als een demografisch en/of geografisch proces gezien. Verstedelijking in deze zin staat voor groei van steden of groei van het deel van de bevolking dat in steden woont. Een stad wordt hierbij vaak gedefinieerd als een plaats met een bepaalde minimale bevolkingsgrootte en/of dichtheid (Johnston e.a., 1994). Davies (1989) definieert steden als "grote, permanente bevolkings-agglomeraties of nederzettingen met een centrumfunctie voor de omliggende plaatsen, waarvan de functionele complexiteit en de sociale heterogeniteit een herkenbare identiteit creëren binnen de samenleving".

Soms wordt onder verstedelijking een proces verstaan waarin met name de grote steden steeds sterker groeien door migratie van het platteland naar de stad. Verstedelijking in deze zin is het tegenovergestelde van suburbanisatie of "counterurbanization", waaronder relatieve groei van kleinere plaatsen of trek naar het platteland wordt begrepen (Johnston e.a., 1994).

Verstedelijking is behalve als een demografisch of geografisch verschijnsel ook te beschouwen als een maatschappelijk proces. Buursink (1986) ziet verstedelijking als een proces van maatschappelijke verandering, dat de omvang en functie van nederzettingen en de levensstijlen en het gedrag van mensen beïnvloedt. Migratie van en naar de stad en de resulterende ruimtelijke patronen van concentratie of deconcentratie zijn volgens hem slechts het gevolg van verstedelijking.

Bij een andere categorie definities van verstedelijking gaat het om verandering van levensstijlen, waarden en normen. Men spreekt in dit verband van mentale verstedelijking (Johnston e.a., 1994).

Tenslotte wordt het begrip verstedelijking niet alleen gebruikt om een proces aan te duiden, maar ook in de zin van stedelijke agglomeratie, bijvoorbeeld wanneer gesproken wordt over "de locatie van nieuwe verstedelijking".

Kenmerkend voor het proces van verstedelijking is de toenemende onderlinge afhankelijkheid van steden. Tegenwoordig kan men spreken van stedelijke systemen, bestaande uit verschillende onderling samenhangende steden. Stedelijke systemen bestaan op verschillende schaalniveaus. Op lokaal niveau zijn er stadsgewesten ("daily urban systems"), opge-

bouwd uit een centrale stad en op die stad betrokken nederzettingen in de nabije omgeving. Stadsgewesten worden vaak afgebakend op basis van forensenstromen, verzorgingsgebieden en/of woningmarktgebieden. Daarnaast zijn er regionale en nationale stedelijke systemen te onderscheiden. Dergelijke stedelijke systemen worden wel stedelijke zones, konurbaties of stedelijke velden ("urban fields") genoemd (Herbert and Thomas, 1991; Ottens, 1989).

Omdat in dit onderzoek ruimtelijke patronen van verstedelijking centraal staan, wordt uitgegaan van een geografische definitie van verstedelijking. Aangesloten wordt bij de definitie van Ottens (1989), die verstedelijking omschrijft als het proces, waarbij steden, stadsgewesten of stedelijke velden ontstaan en groeien, doordat menselijke activiteiten en gebouwde structuren er gevestigd worden.

Verstedelijking manifesteert zich in bepaalde ruimtelijke patronen. Een patroon kan in het algemeen gedefinieerd worden als de wijze waarop verschijnselen in de ruimte ten opzichte van elkaar gelegen zijn (Struijlaart, 1993). Ruimtelijke patronen kunnen zowel betrekking hebben op statische verschijnselen (zoals steden) als op bewegende verschijnselen of interacties (zoals verkeersstromen). Naast ruimtelijke patronen worden ruimtelijke processen onderscheiden; deze zijn te omschrijven als veranderingen in ruimtelijke patronen. In dit onderzoek gaat het niet zozeer om de milieu-effecten die bestaande verstedelijking *patronen* met zich meebrengen, maar om de invloed van verstedelijkings *varianten*. Hieronder wordt de situering van nieuwbouwlocaties ten opzichte van het bestaande verstedelijkingspatroon verstaan.

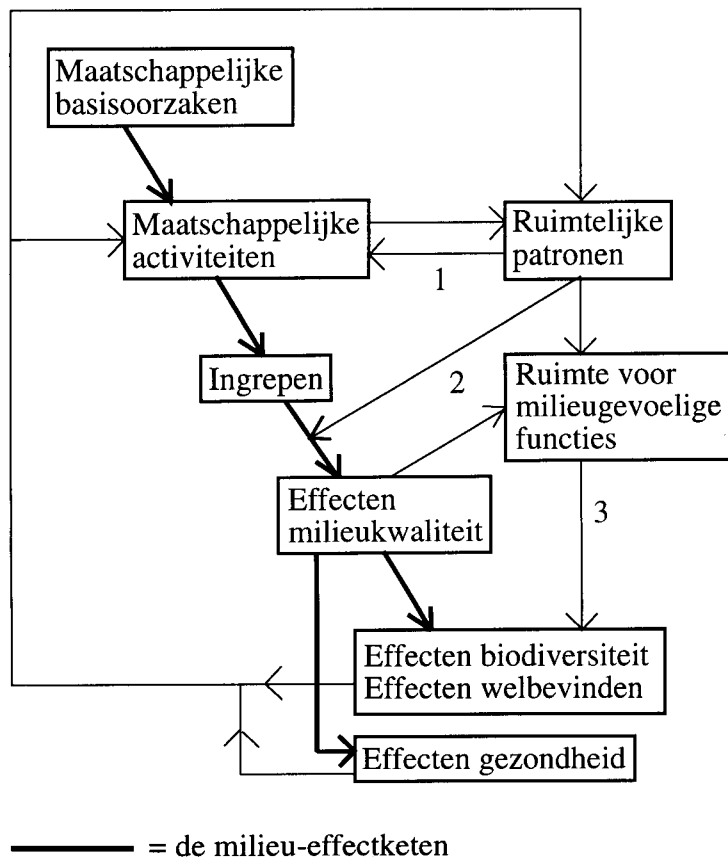
2.2 Verstedelijkingsvarianten en milieu-effecten

In figuur 2.1 zijn de relaties tussen maatschappelijke activiteiten, ruimtelijke patronen (van maatschappelijke activiteiten) en milieu-effecten weergegeven. Het schema is deels ontleend aan de milieuprobleemketen van Bouwer en Leroy (1995). De lijn die loopt van de maatschappelijke basisoorzaken via de maatschappelijke activiteiten en ingrepen naar de verschillende soorten effecten wordt hier de milieu-effectketen genoemd.

Uitgangspunt in het schema is dat milieu-effecten zijn te beschrijven in termen van vermindering van de biodiversiteit of aantasting van de gezondheid of het (overig) welbevinden van mensen. Deze drie elementen worden effectvariabelen genoemd. Onder biodiversiteit wordt de rijkdom aan soorten organismen verstaan. Biodiversiteit is onder andere van belang voor de productie van voedsel, grondstoffen, medicijnen, voor recreatieve doelen en de regulering van het klimaat. Daarnaast is aan planten en dieren een intrinsieke waarde toe te kennen (Annema e.a., 1993). Gezondheid wordt door de Wereldgezondheidsorganisatie (WHO) gedefinieerd als een algemeen fysiek, psychisch en sociaal welbevinden. De gezondheid wordt bepaald door de combinatie van endogene factoren (zoals leeftijd en geslacht) en exogene factoren; milieufactoren behoren tot deze exogene factoren (RIVM, 1991). Onder (overig) welbevinden wordt hier de mate van vervulling van behoeften verstaan die niet onder de noemer "gezondheid" vallen, zoals de behoefte aan inkomen, werkgelegenheid, goede voorzieningen en een aantrekkelijke woonomgeving.

Milieu-effecten ontstaan door maatschappelijke activiteiten (landbouw, industrie, verkeer, recreatie etc.) die onder invloed staan van maatschappelijke basisoorzaken, zoals economische groei, sociaal-culturele ontwikkelingen, bevolkingsgroei en technologische ontwikkelingen. Maatschappelijke activiteiten leiden, afhankelijk van de stand van de technologie,

tot bepaalde ingrepen in het milieu. Bij deze ingrepen gaat het om het in het milieu brengen van chemische stoffen of fysieke condities of het onttrekken van componenten uit het milieu. Deze toevoegingen en onttrekkingen leiden tot verandering (in negatieve of positieve zin) van de fysisch-chemische kwaliteit van lucht, water en bodem, ook wel de milieukwaliteit genoemd. De mate waarin de milieukwaliteit bij een gegeven niveau aan ingrepen wordt veranderd, is afhankelijk van natuurlijke processen en de stand van de technologie (Bouwer en Leroy, 1995). Verandering van de milieukwaliteit kan leiden tot effecten op de biodiversiteit, de gezondheid of het welbevinden van de mens.



Figuur 2.1 De milieu-effectketen en ruimtelijke patronen

Maatschappelijke activiteiten manifesteren zich in bepaalde ruimtelijke patronen (zoals verstedelijkingspatronen of -varianten). Verstedelijkingsvarianten kunnen langs drie wegen tot milieu-effecten leiden; dit wordt in figuur 2.1 weergegeven door de pijlen 1, 2 en 3. In de eerste plaats kunnen verstedelijkingsvarianten de maatschappelijke activiteiten zodanig beïnvloeden, dat dit gevolgen heeft voor het niveau van de ingrepen (pijl 1). Een voorbeeld hiervan is een relatief hoge intensiteit van het autoverkeer bij een sterk gespreide verstedelijking. Ook kan gedacht worden aan het feit dat nabijheid van een stad tot een electriciteitscentrale, een minimum aantal woningen en hoge bebouwingsdichtheden toepassing van stadsverwarming mogelijk maken, waardoor minder CO₂ wordt geëmitteerd. In de tweede plaats beïnvloeden verstedelijkingsvarianten de mate waarin bij een gegeven niveau aan ingrepen de milieukwaliteit op een bepaalde plaats wordt beïnvloed (pijl 2). Het ruimtelijk systeem vormt hierbij een intermediair tussen ingrepen en effecten. Niet de

hoeveelheid geëmitteerde stoffen wordt door de ruimtelijke structuur beïnvloed, maar de wijze waarop ze zich via water, bodem en lucht verspreiden of op een bepaalde plaats accumuleren. Een voorbeeld is het feit dat de achtergrondconcentratie aan luchtverontreinigende stoffen in een stad wordt beïnvloed door de omvang van de stad.

Tenslotte kunnen verstedelijkingsvarianten de biodiversiteit of het welbevinden van de mens aantasten, zonder dat de fysisch-chemische milieukwaliteit verandert (pijl 3). Hierbij gaat het om aantasting van de beschikbare ruimte voor functies die afhankelijk zijn van een bepaalde minimale milieukwaliteit en (voor natuur) omvang van het leefgebied, milieu-gevoelige functies genoemd. Een duidelijke relatie met gezondheid lijkt in deze categorie effecten niet te bestaan.

Wat betreft de effecten op biodiversiteit kan gedacht worden aan de vernietiging van ecosystemen door stedelijke uitbreidingen of de afname van populaties van diersoorten door versnippering. Volgens de "eilandtheorie" nemen de overlevingskansen van een soort af wanneer het beschikbare areaal afneemt en corridors tussen (mogelijke) leefgebieden verdwijnen (Tamis e.a., in: Boersema e.a., 1994).

Het welbevinden van mensen wordt zowel door de ruimtelijke kwaliteit als door de milieukwaliteit bepaald. Ruimtelijke kwaliteit bestaat uit de elementen gebruikswaarde, belevingswaarde en toekomstwaarde. Gebruikswaarde heeft onder andere betrekking op optimale concentratie van functies en functionele relaties en combinatiemogelijkheden tussen functies. Belevingswaarde komt tot uiting in diversiteit en ontwerpqualität en cultuurhistorische waarden. Toekomstwaarde heeft te maken met duurzaamheid van de ruimtelijke structuur en de mogelijkheid tot een flexibel gebruik van delen van die structuur (Ministerie van VROM, 1990). Verstedelijkingsvarianten kunnen deze elementen beïnvloeden, bijvoorbeeld in verband met de bereikbaarheid van steden, die betrekking heeft op de gebruikswaarde. Met name bij de belevingswaarde spelen echter ook andere (bijvoorbeeld architectonische) factoren een rol.

In het schema is verder aangegeven dat de milieukwaliteit de beschikbare ruimte voor milieugevoelige functies beïnvloedt. Hierbij kan gedacht worden aan milieuzones voor geluidhinder en externe veiligheid. De gebruikswaarde van de ruimte en het welbevinden van mensen kunnen hierdoor worden aangetast.

Er bestaat een dilemma omdat sommige categorieën milieu-effecten veroorzaakt worden door ruimtelijke spreiding van verstedelijking (met name effecten op biodiversiteit), terwijl voor andere categorieën milieu-effecten (met name effecten op de gezondheid of het welbevinden) juist de concentratie van activiteiten in de stad bepalend is. Dit wordt wel het "dilemma van de compacte stad" genoemd. In hoofdstuk 3 en hoofdstuk 8 wordt hier nader op ingegaan.

De pijl die van de drie effectvariabelen loopt naar de maatschappelijke activiteiten en de ruimtelijke patronen stelt de reactie van de maatschappij op de milieu-effecten voor. Deze reactie kan plaatsvinden door middel van milieubeleid, waarin de maatschappelijke activiteiten worden beïnvloed, of ruimtelijk beleid (waaronder verstedelijkingsbeleid), dat tracht de ruimtelijke patronen te beïnvloeden. Deze reactie vindt plaats wanneer de milieu-effecten als milieuproblemen worden gepercipieerd. Milieu-effecten zijn pas als milieuproblemen te beschouwen wanneer ze door grotere groepen mensen in de maatschappij als zodanig worden gezien (Udo de Haes, in: Boersema e.a., 1994; Bouwer en Leroy, 1995).

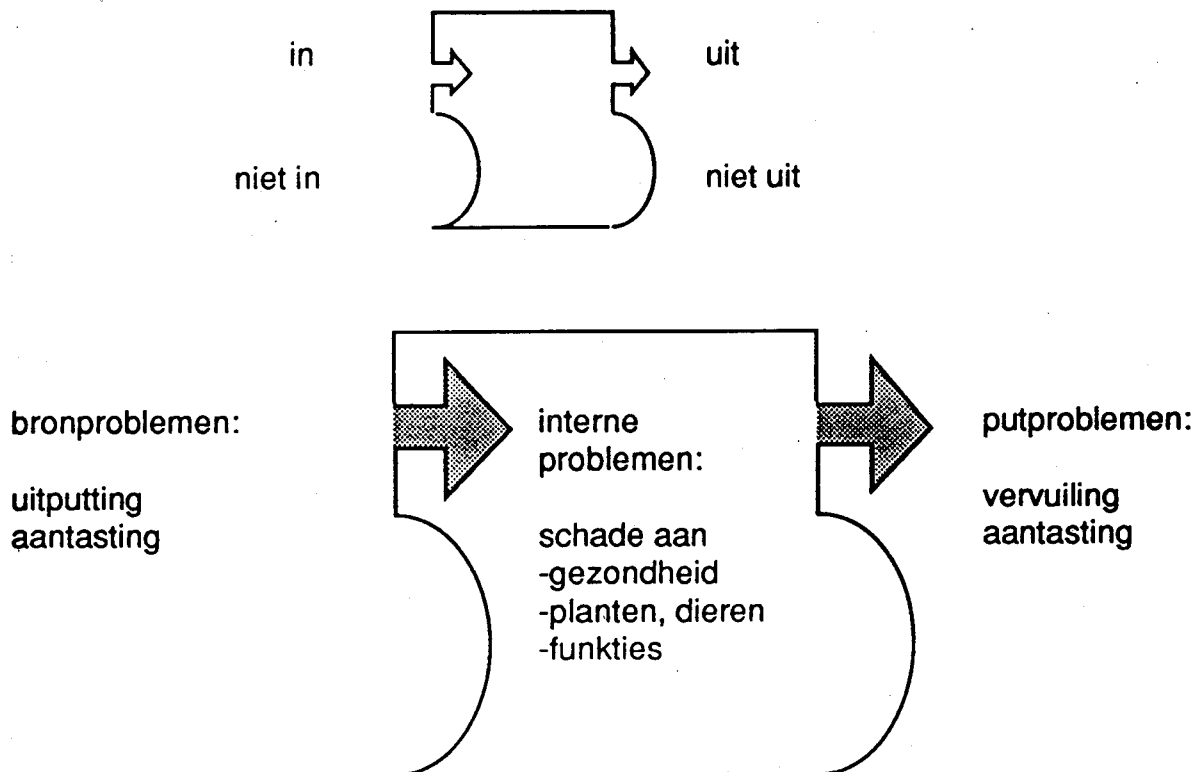
2.3 Inhoud en positionering van de stromenbenadering

In de zogenaamde ECOPOLIS-strategie van Tjallingii (1992) wordt gesteld dat een belangrijk deel van de milieuproblemen die door stedelijke activiteiten worden veroorzaakt verband houdt met stromen die de stad binnenkomen en verlaten. Milieu-effecten die met inkomende stromen, zoals grondstoffen, water en energie, samenhangen brengen de "bron"-functie van het milieu in gevaar. Uitgaande stromen, zoals afval en vervuild water, bedreigen de "put"-functie van het milieu. Verkeer is zowel een inkomende als een uitgaande stroom. De interne problemen van de stad worden vaak opgelost door de aan- en afvoerstromen te versterken. Daardoor worden de externe problemen juist vergroot. Op deze manier wentelt de stad haar problemen af op andere gebieden, hogere schaalniveaus en volgende generaties (Koning en Tjallingii, 1991; Tjallingii, 1992). Het "stromenbeheer" is één van de invalshoeken die volgens de ECOPOLIS-strategie gehanteerd kan worden bij het streven naar duurzame stedelijke ontwikkeling. De andere invalshoeken zijn "gebieden" (benutten van ecologische potenties in een gebied) en "participanten" (betrokkenheid van actoren). Door beheersing van stromen die de stad ingaan en verlaten (stromenbeheer), kunnen de milieu-effecten die het gevolg zijn van verstedelijking worden bestreden (Tjallingii, 1992). Figuur 2.2 is een schematische weergave van een stad met in- en uitgaande stromen.

Dit door Van Leeuwen en Van Wirdum ontwikkelde schema wordt wel het ecodevice-model genoemd (Duijvestein, 1988). Met de holle en bolle kant van het model wordt het vermogen aangeduid van het stedelijk systeem om stromen tegen te houden (niet in) en vast te houden (niet uit). Door binnen de stad kringlopen van stromen te sluiten kan dit vermogen worden versterkt. Het ecodevice-model en het sluiten van kringlopen kan ook op hogere en lagere schaalniveaus betrekking hebben. Het sluiten van kringlopen betekent concreet (Ministerie van LNV, 1995a; Tjallingii, 1992):

- gebruik maken van grondstoffen en energiebronnen die in een gebied zelf aanwezig zijn;
- hergebruik van afvalstoffen, warmte en water (binnen een gebied);
- afvalverwerking of zuivering van water binnen een gebied.

Door stromen te laten beginnen en eindigen in dezelfde ruimtelijke eenheid wordt de afwenteling naar hogere schaalniveaus verminderd (Ministerie van LNV, 1995a). Op de vraag welke kringloop op welk schaalniveau gesloten dient te worden, is echter geen eenduidig antwoord te geven, omdat "harde" criteria hiervoor ontbreken (Geelen, pers. meded.). Uit de ECOPOLIS-strategie komt naar voren dat bijvoorbeeld de kringloop van water op meerdere schaalniveaus tegelijkertijd kan worden gesloten. Zo is op het niveau van een gebouw hergebruik mogelijk, terwijl op wijkniveau regenwater kan worden opgevangen ten behoeve van drinkwaterwinning (Tjallingii, 1992). Uit dit voorbeeld blijkt dat het sluiten van kringlopen niet altijd letterlijk moet worden opgevat; vaak kan slechts een deel van de kringloop worden gesloten. Volgens Tjallingii (pers. meded.) leiden efficiency-overwegingen er vaak toe dat stromen zich op een hoger schaalniveau bewegen dan goed is voor het milieu. Energie, afval en vervuild water worden bijvoorbeeld opgewekt resp. verwerkt in centrale voorzieningen die een groot gebied bedienen. Omdat de inwoners van steden (de "participanten") niet zien wat er met hun afval of vervuild water gebeurt, ontbreekt de motivatie voor milieuvriendelijk gedrag. Overcapaciteit in energiecentrales of afvalverwerkingsinstallaties ontmoedigt bovendien een preventief beleid. Door een meer decentrale benadering kan vervuiling bij de bron worden bestreden (Tjallingii, 1992).

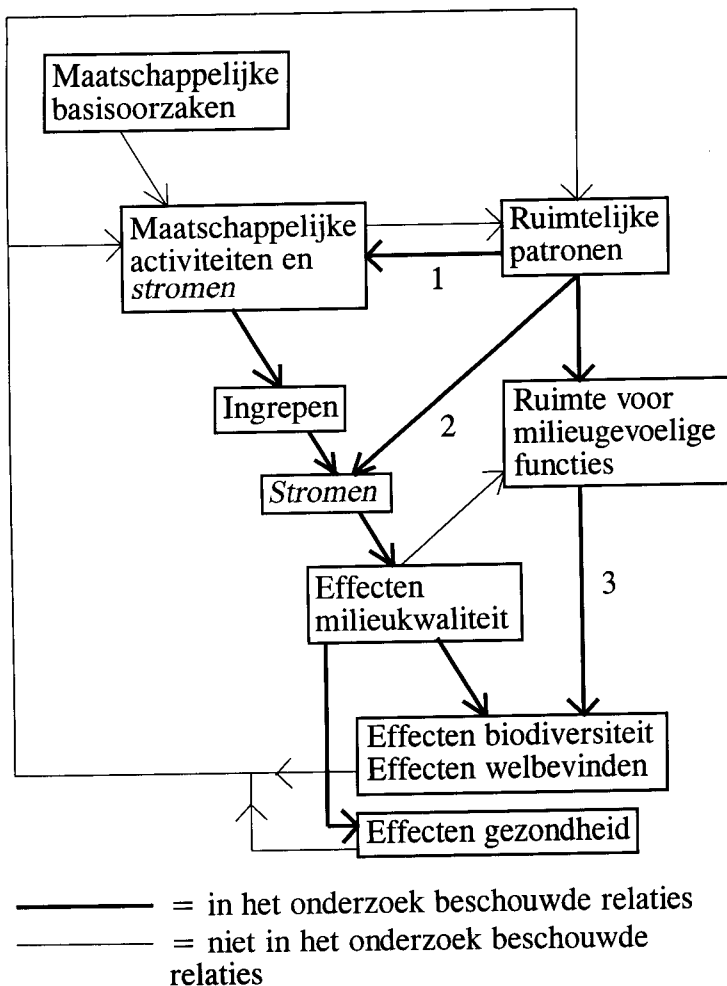


Figuur 2.2 Het ecocodevice-model (bron: Tjallingii, 1992)

In figuur 2.3 wordt de plaats van stromen in de milieu-effectketen aangegeven. Tussen maatschappelijke activiteiten zijn er allerlei door mensen tot stand gebrachte stromen. Dit zijn stromen van verkeer, energie, drinkwater, afval, grondstoffen en produkten die gebruik maken van door mensen aangelegde of natuurlijke netwerken. De milieu-ingrepen die met deze stromen samenhangen zijn vaak niet in de stad zelf gelokaliseerd. De meeste van deze stromen vormen inputs of outputs voor productie en consumptie. Verkeersstromen daarentegen zijn zelf te zien als een maatschappelijke activiteit (Bouwer en Leroy, 1995). Natuurlijke stromen zijn verderop in de milieu-effectketen te plaatsen, namelijk tussen de ingrepen en effecten: via water en lucht worden emissies verplaatst of vinden onttrekkingen plaats (water). Hier vormen stromen dus het medium waarlangs verontreinigingen verplaatst worden. Bij alle soorten relaties tussen verstedelijkingsvarianten en milieu-effecten (pijl 1, 2 en 3) kunnen stromen een rol spelen. Het in hoofdstuk 1 genoemde analysekader verstedelijkingsvarianten -> stromen -> milieu-effecten is een vereenvoudiging van figuur 2.3.

Niet alleen de stromenbenadering als analysekader is aan de hand van figuur 2.3 in een bredere context te plaatsen, ook de plaats van stromenbeheer als beleidsconcept wordt duidelijk. De ruimtelijke ordening kan stromen beïnvloeden door veranderingen in ruimtelijke patronen. Hierbij gaat het bijvoorbeeld om de planning van netwerken waar stromen gebruik van maken, zoals wegen, waterleidingen, elektriciteitskabels en kanalen (Ministerie van LNV, 1995a). In de zogenaamde Strategie van de Twee Netwerken wordt uitgegaan van de sturende werking van verkeersnetwerken en waternetwerken. Door deze netwerken op een juiste manier vorm te geven zouden veel milieuproblemen voorkomen kunnen worden (RPD, 1995). Hoewel de Strategie van de Twee Netwerken een belangrijk element

is in het denken over stromen en stadsecologie wordt hier in dit onderzoek niet expliciet op ingegaan.



Figuur 2.3 Positionering van het onderzoek en van de stromenbenadering

In figuur 2.3 is verder (met de dikkere lijnen) aangegeven welke relaties in het onderzoek worden meegenomen. De maatschappelijke basisoorzaken worden buiten beschouwing gelaten. Ook de respons van de maatschappij op milieu-effecten komt niet aan de orde. Effecten op de milieukwaliteit, de mens en biodiversiteit zijn in de onderzoeksvragen (zie hoofdstuk 1) samengenomen onder de noemer milieu-effecten.

In dit onderzoek wordt een onderscheid gemaakt tussen de stromenbenadering als objectief analysekader en het sluiten van kringlopen als normatief uitgangspunt. Samengevat worden de volgende twee hypothesen getoetst:

1. de milieu-effecten van verstedelijkingsvarianten kunnen worden geanalyseerd aan de hand van stromen die de stad ingaan en verlaten;
2. het sluiten van kringlopen is een bruikbaar uitgangspunt om te bepalen welke verstedelijkingsvariant het meest duurzaam is.

3. VERSTEDELIJKINGSVARIANTEN

3.1 Inleiding

In dit hoofdstuk zullen de verstedelijkingsvarianten worden behandeld, die als basis dienen voor de analyse in de volgende hoofdstukken. Voorafgaand aan de bespreking van de verschillende varianten in paragraaf 3.3 zal in paragraaf 3.2 het huidige verstedelijkingsbeleid kort worden behandeld.

3.2 Het huidige verstedelijkingsbeleid

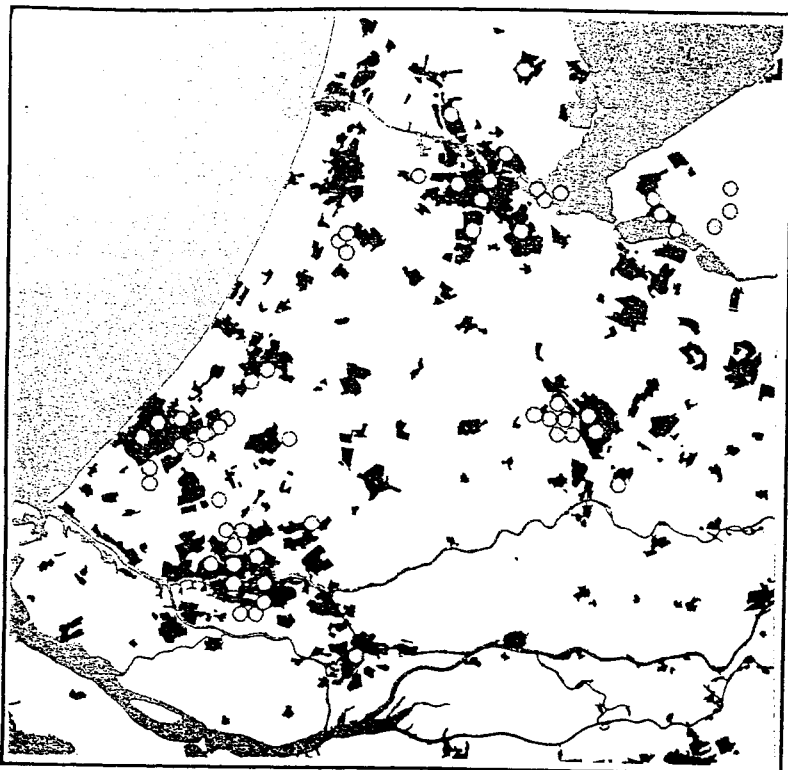
Het verstedelijkingsbeleid voor de periode 1990-2015 is vastgelegd in de Vierde Nota over de Ruimtelijke Ordening Extra (VINEX). Centraal in de VINEX staat het principe van bundeling van verstedelijking, ook wel het compacte stad-beleid genoemd. Als argumenten voor bundeling worden in de VINEX genoemd:

- ondersteuning van het stedelijk draagvlak;
- beperking van de groei van de mobiliteit;
- situering van woningen, werkgelegenheid en voorzieningen op zodanige afstand van elkaar dat de bereikbaarheid met fiets en openbaar vervoer optimaal is;
- beperking van verdere verstedelijking van het landelijk gebied.

Bundeling wordt gerealiseerd door nieuwe woon-, werk- en recreatiegebieden en verzorgingselementen in en zo dicht mogelijk bij grote en middelgrote steden te lokaliseren. Bij de keuze van nieuwe locaties geldt de volgende voorkeursvolgorde: eerst benutten van mogelijkheden in het stedelijk gebied, vervolgens aan de rand ervan en pas daarna verder weg gelegen mogelijkheden in aansluiting op bestaande kernen (Ministerie van VROM, 1990). Bartelds en De Roo (1995) noemen als elementen van het compacte stad-beleid het zoveel mogelijk gebruik maken van bestaand stedelijk gebied, het concentreren en vermengen van functies en het bouwen in hoge dichtheden. Voor de Randstad betekent het bundelingsbeleid dat verstedelijking op de "ring" plaatsvindt, waarbij de landelijke gebieden tussen de stadsgewesten, de zogenaamde bufferzones, worden ontzien. Ook het Groene Hart dient te worden gevrijwaard van verstedelijking (Ministerie van VROM, 1990). In figuur 3.1 zijn de VINEX-locaties aangegeven die in de periode 1990-2005 worden gerealiseerd in de Randstad. Het compacte stad-beleid is hierin duidelijk herkenbaar. Elke stip stelt 10.000 inwoners voor.

De laatste jaren is de aandacht voor de problemen die het compacte stad-beleid met zich meebrengt, toegenomen. In het Nationaal Milieubeleidsplan 2 (NMP2) valt te lezen: "in toenemende mate vindt in de steden een concentratie van verschillende functies op lokaal niveau plaats. Deze ontwikkeling heeft positieve en negatieve effecten, zij het op verschillend schaalniveau. Positief is de beheersing van de mobiliteit en het zuinig ruimtegebruik. Tegelijkertijd betekent het een concentratie van milieuproblemen in het stedelijk gebied, waardoor spanningen kunnen ontstaan tussen wonen en werken. Dit dilemma wordt ook wel de "paradox van de compacte stad" genoemd" (Bartelds en De Roo, 1995). Vanwege dit dilemma is het compacte stad-beleid door sommigen ter discussie gesteld. Volgens Reijs e.a. (1996) pleiten onder meer congestieproblemen, de steeds groter wordende verstedelijkingsopgave, het gebrek aan betaalbare locaties dichtbij bestaande steden en de

behoefte aan suburbane woonmilieus tegen een eenzijdige nadruk op een compacte stad. Onduidelijk is echter nog of vanuit duurzaamheidsoverwegingen een compacte of meer uiteengelegde structuur wenselijk is; waarschijnlijk verschilt deze keuze per regio (Reijs e.a., 1996). Op het compacte stad-beleid wordt in hoofdstuk 8 teruggekomen.



Figuur 3.1 VINEX-locaties 1990-2005 in de Randstad (bron: De Jong e.a., 1996a)

Het VINEX-beleid kent twee uitvoeringsfasen, waarvan de eerste betrekking heeft op bouwlocaties voor de periode 1995-2005. Deze locaties zijn inmiddels vastgelegd in convenanten tussen het rijk en lagere overheden. Op dit moment wordt in het kader van de zogenaamde actualisering van de VINEX het verstedelijkingsbeleid voor de periode 2005-2010 voorbereid. De meeste voorstellen van provincies en gemeenten voor bouwlocaties passen in het huidige VINEX-beleid (compacte stad, vrijhouden Groene Hart en bufferzones). Dit betekent dat het VINEX-beleid tot 2010 in grote lijnen wordt gecontinueerd. Aanvankelijk was het de bedoeling dat deze tweede uitvoeringsfase zou doorlopen tot 2015. Omdat verwacht wordt dat vanaf 2010 wél grote beleidswijzigingen nodig zijn is de tweede fase van de VINEX echter ingekort (Houtsma, pers. meded.).

3.3 De VERSRING-concepten

De Rijksplanologische Dienst heeft voor de tweede fase van de uitvoering van de VINEX vier opties voor verstedelijking ontwikkeld met verschillende ruimtelijke uitwerkingen, de zogenaamde VERSRING-concepten (VERStedelijking StedenRING). Deze concepten hebben betrekking op de Stedenring Centraal Nederland, waaronder de Randstad

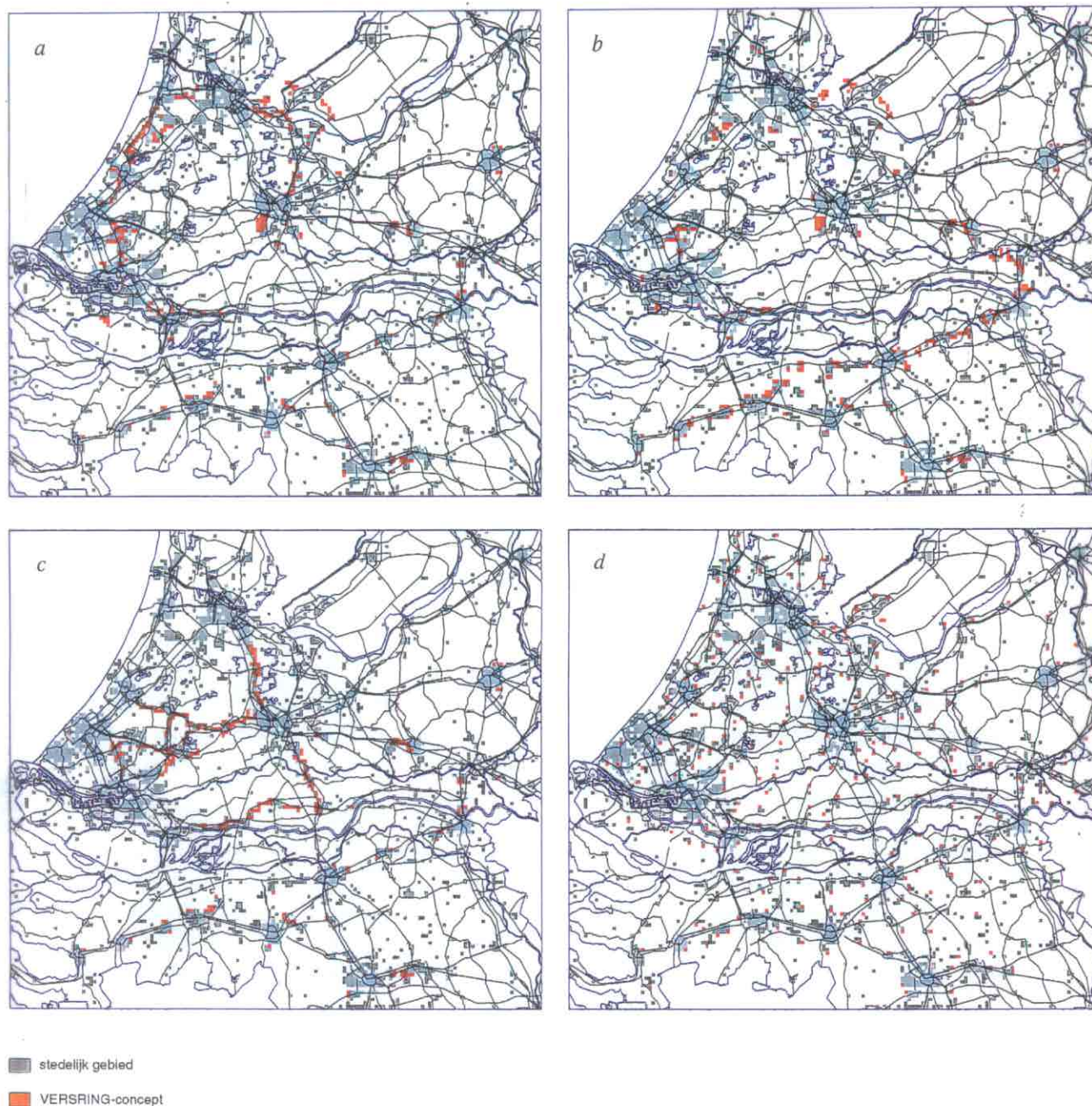
plus de steden in Gelderland (tot aan Arnhem en Nijmegen) en Noord-Brabant (de stedenrij Breda, Tilburg, Den Bosch en Eindhoven) wordt verstaan. De Stedenring omringt de zogenaamde Centrale Open Ruimte, die bestaat uit het Groene Hart en het rivierengebied (Harms e.a., 1995).

In de figuren 3.2a t/m 3.2d zijn de VERSRING-concepten afgebeeld. De VERSRING-concepten zijn ontwikkeld op het moment dat er nog vanuit werd gegaan dat de tweede fase van de VINEX tot 2015 door zou lopen. Ze hebben dus betrekking op de periode 2005-2015. Voor dit onderzoek zijn ze goed bruikbaar als denkmodellen voor toekomstige verstedelijking. De concepten zijn ook als zodanig bedoeld; aan de exacte locaties moet niet te veel waarde worden gehecht (Houtsma, pers. meded.). De concepten zijn afkomstig uit een onderzoek naar de effecten van verstedelijking op natuurwaarden van Harms e.a. (1995). Waarschijnlijk zijn ze ten behoeve van dit specifieke onderzoek enigszins aangepast. In hoofdlijnen vertegenwoordigen ze echter ideeën die in de discussie over de toekomstige verstedelijking een belangrijke rol spelen. Vergelijkbare concepten of visies worden ook in andere publicaties genoemd (RPD, 1994; Lemmers, 1995; Van Rossem, 1994; Van den Boomen, 1995; Ministerie van V&W, 1995a).

De VERSRING-concepten gaan uit van een woningbouwbehoefte van 500.000 woningen. Uitgaande van een woningvoorraad van 5.939.187 woningen in 2005 in de Stedenring (Verroen e.a., 1995) komt dit neer op 8 procent van de totale woningvoorraad. Voor het totale ruimtelijk patroon van de verstedelijking betekent dit een betrekkelijk geringe variatie. Eén rood blokje in figuur 3.2 heeft een omvang van 1 km². Uitgegaan is van een bebouwingsdichtheid van 30 woningen per hectare in woongebieden (netto bebouwingsdichtheid). Verondersteld is dat 70 procent van het stedelijk gebied uit woongebied bestaat (Harms e.a., 1995). Hieruit kan worden afgeleid dat één blokje circa 2.000 woningen voorstelt. Hieronder zullen de VERSRING-concepten afzonderlijk worden behandeld.

RING

In het concept RING ligt het accent van de verstedelijking in de Randstad. Omdat het op veel plaatsen in de Randstad niet meer mogelijk is om uitbreidingslocaties dichtbij de stadsgewesten te vinden, wordt de verstedelijking tussen de stadsgewesten geconcentreerd. De stedelijke agglomeraties op de "ring" groeien aaneen en de bufferzones tussen de stadsgewesten verdwijnen. De Centrale Open Ruimte blijft gevrijwaard van verstedelijking en zal sterker dan nu als recreatiegebied voor stedelingen fungeren. In dit concept wordt verondersteld dat huishoudens voor hun werk en het gebruik van voorzieningen op meerdere steden georiënteerd zijn (bijvoorbeeld tweeverdieners). Dit hangt samen met de toenemende mobiliteit en schaalvergroting. In dit concept kan het openbaar vervoer op de ring optimaal worden benut (Harms e.a., 1995, RPD, 1994; Houtsma, pers. meded.). Het bouwen van meerkernig georiënteerde steden tussen de stadsgewesten in goede aansluiting op het openbaar vervoer is recentelijk bepleit in de "Visie op verstedelijking en mobiliteit" van het Ministerie van Verkeer en Waterstaat (1995a). RING vereist een grote mate van sturing op rijks- en provinciaal niveau (Harms e.a., 1995).



Figuur 3.2 De VERSRING-concepten RING (a), SCHUIF (b), INFRA (c) en DIFFUUS (d) (bron: Harms e.a., 1995)

SCHUIF

Net als in het concept RING blijft bij het concept SCHUIF de Centrale Open Ruimte een landelijk karakter behouden. Het concept veronderstelt daarentegen dat het stadsgewest het kader blijft waarbinnen mensen zich hoofdzakelijk bewegen. De verstedelijking wordt daarom dichtbij bestaande steden geconcentreerd (het compacte stad-model). Omdat er in de Randstad nog maar weinig locaties bij de steden beschikbaar zijn, vindt een verschuiving plaats van de Randstad naar de Brabantse stedenrij en naar regio's in het oosten, zoals Veenendaal/Ede en Arnhem/Nijmegen. In tegenstelling tot het model RING is dus geen sprake van het aaneengroeien van steden in de Randstad en blijven de bufferzones behouden. Ook het concept SCHUIF vereist een grote mate van sturing op rijks- en provinciaal niveau (Harms e.a., 1995; Houtsma, pers. meded.).

INFRA

Bij het concept INFRA is sprake van een duidelijke trendbreuk in het verstedelijkingsbeleid. Verstedelijking wordt mogelijk gemaakt langs de hoofdinfrastructuur in de Centrale Open Ruimte. Dit betekent vooral dat de assen die dwars door het Groene Hart lopen, te weten Rotterdam/Den Haag-Utrecht en Amsterdam-Utrecht sterk zullen verstedelijken. Het Groene Hart wordt in tweeën gedeeld door de lijn Rotterdam-Gouda-Utrecht. De bufferzones tussen de stadsgewesten blijven wel behouden. De gedachte hierachter is dat de ruimtelijke ontwikkeling sterk door de vrije markt wordt bepaald. Bedrijven kiezen voor locaties langs de snelwegen en het spoor. INFRA vereist minder sturing op rijksniveau dan RING en SCHUIF (Harms e.a., 1995; Houtsma, pers. meded.).

DIFFUUS

Het concept DIFFUUS is het resultaat wanneer sturing van bovenaf ontbreekt; iedere gemeente bepaalt zijn eigen groei. Het restrictief beleid ten aanzien van de Centrale Open Ruimte wordt geheel los gelaten. Net als in het concept INFRA is sprake van een sterke invloed van de vrije markt. De gespreide verstedelijking in het concept DIFFUUS wordt vaak vergeleken met Los Angeles. In zijn boek "Randstad Holland, variaties op het thema stad" pleit de architectuurhistoricus Van Rossem (1994) voor een dergelijk model. Een belangrijk argument hiervoor is dat zo tegemoetgekomen wordt aan de woonwensen van de bevolking; mensen kunnen ruim en rustig wonen in een vrijstaande eengezinswoning met een tuin en een parkeerplaats voor de deur. Er zijn bovendien voldoende mogelijkheden voor recreatie in de buurt. Financieel zou het concept DIFFUUS aantrekkelijk zijn, omdat de overheid geen geld hoeft te steken in dure VINEX-locaties. Met het geld dat het Groene Hart opbrengt, kan de verpaupering van de steden worden bestreden (Harms e.a., 1995, Van Rossem, 1994; RPD, 1994; Van den Boomen, 1995).

Zoals vermeld is in de VERSRING-concepten uitgegaan van een uniforme bebouwingsdichtheid. In de discussie over (de milieu-aspecten van) het compacte stad-beleid speelt dichtheid een belangrijke rol; hoge dichtheden kunnen bijvoorbeeld geluidhinder en concentraties van luchtverontreiniging doen toenemen, maar juist de mobiliteit beperken. Voor het analyseren van milieu-effecten zou dichtheid wel eens een belangrijke dimensie kunnen zijn. Om deze dimensie in de analyse te kunnen betrekken wordt ervan uitgegaan *dat de dichtheid in het concept DIFFUUS lager is dan in de andere varianten*. Dit komt ook overeen met de gedachte achter het concept (vrijstaande woningen in een groene omgeving). Bovendien wordt voor het doel van dit onderzoek een vijfde verstedelijkingsvariant, VERDICHTING, aan de VERSRING-concepten toegevoegd, waarin de woningbehoefte

zoveel mogelijk in bestaand stedelijk gebied wordt opgevangen. Een dergelijke variant wordt in een interne notitie van de Rijksplanologische Dienst ook als optie genoemd (RPD, 1994). De concepten VERDICHTING en DIFFUUS zijn wat betreft dichtheden te zien als elkaars tegenpolen.

VERDICHTING

In de VERDICHTING-variant wordt het compacte stad-principe in de meest letterlijke zin van het woord ingevuld. Het bestaand stedelijk gebied wordt verder verdicht door functieverandering van grotere terreinen en door woningbouw in bestaande woonwijken. Hierbij ligt een sterk accent op hoogbouw¹. Daarnaast kan worden gekozen voor herverdeling van de bestaande woningvoorraad door het stimuleren van doorstroming (verhuizing) of herverdeling in de fysieke zin van het woord (bijvoorbeeld verbouw van 2 woningen naar 3 woningen) (RPD, 1994). Waarschijnlijk is het niet reëel om in de gehele woningbehoefte te voorzien door middel van verdichting. Verondersteld wordt daarom dat waar verdichting niet mogelijk is aan de rand van de stad wordt gebouwd in hoge dichtheden.

Uit het voorgaande blijkt dat de opties voor verstedelijking op lange termijn als volgt kunnen worden samengevat. Het bouwen in de nabijheid van steden conform het compacte stad-beleid wordt na 2005/2010 in de Randstad steeds moeilijker. Handhaving van het nabijheidsprincipe is op termijn alleen mogelijk buiten de Randstad (SCHUIF). Wanneer toch besloten wordt tot verdere verstedelijking in de Randstad moet gekozen worden tussen aantasting van het Groene Hart (DIFFUUS en INFRA), het verdwijnen van de bufferzones (RING) of een sterke verdichting in bestaande steden (VERDICHTING).

Overigens zijn binnen de Randstad zijn voor de varianten RING en SCHUIF subvarianten mogelijk, waarbij wordt gekozen voor verstedelijking op de *binnenflank*, waarbij een deel van het Groene Hart wordt bebouwd, of op de *buitenflank*, waarbij de buitenkant van de ring wordt benut. Bij verstedelijking op de binnenflank blijven de bufferzones behouden, kunnen veel mensen recreëren in het Groene Hart en zou een goede aansluiting op het verkeers- en vervoersnetwerk mogelijk zijn. Bouwen op de buitenflank betekent dat niet alleen de bufferzones, maar ook het Groene Hart onaangetast blijven. Het risico bestaat echter dat in de nieuwe locaties onvoldoende werkgelegenheid van de grond komt (RPD, 1994).

In tabel 3.1 zijn de kenmerken van de vijf verstedelijkingsvarianten nog eens samengevat.

¹ Behalve door hoogbouw kan verdichting ook gerealiseerd worden door ondergronds bouwen. Op de milieu-effecten van ondergronds bouwen wordt in dit onderzoek echter niet ingegaan.

	Compacte stad	Behoud Groene Hart	Behoud bufferzones	Netto bebou-wingsdichtheid	Trefwoorden
RING	Gedeeltelijk	Ja	Nee	30 woningen/ha	Meerkernige oriëntatie/OV op de ring
SCHUIF	Ja	Ja	Ja	30 woningen/ha	Compacte stad
INFRA	Nee	Nee	Ja	30 woningen/ha	Benutten spoorlijnen
DIFFUUS	Nee	Nee	Nee	Minder dan 30 woningen/ha, vrijstaande woningen	Suburbaan wonen
VERDICHTING	Ja	Ja	Ja	Meer dan 30 woningen/ha, hoogbouw	Beperking ruimtebeslag en mobiliteit

Tabel 3.1 Kenmerken van de verstedelijkingsvarianten

4. STROMEN EN MILIEU-EFFECTEN

4.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt de vraag beantwoord welke stromen een rol spelen in de relatie tussen verstedelijking en milieu en met welke milieu-effecten ze samenhangen. In hoofdstuk 2 zijn milieu-effecten in drie categorieën verdeeld, naar de effectvariabelen biodiversiteit, gezondheid en welbevinden. Gebleken is dat verstedelijkingsvarianten via stromen invloed uitoefenen op deze drie effectvariabelen. In dit hoofdstuk wordt daarnaast een andere indeling gehanteerd, namelijk die in milieuthema's of "ver"-thema's, omdat deze indeling wat concreter aangeeft om welke processen en effecten het gaat. Als milieuthema's worden onderscheiden verdroging, vermesting, verzuring, verandering van klimaat, verspreiding, verstoring, versnippering, verwijdering en verspilling.

4.2 Stromen en milieu-effecten

In publicaties over stadsecologie of duurzame stedelijke ontwikkeling worden verkeer, water, energie, afval en grondstoffen genoemd als stromen die een rol spelen bij de milieu-effecten van stedelijke activiteiten (Ministerie van LNV, 1995a; Tjallingii, 1992; Deelstra, 1994a en b; Berends e.a., 1995). In de tabellen 4.1 en 4.2 zijn de milieu-effecten die met deze vijf stromen samenhangen weergegeven.

	verkeer	water	energie	afval	grondstoffen
verdroging		++			+
vermesting		++			
verzuring	++		++		
klimaat	++		++	+	+
verspreiding	+	++	+	+	
verstoring	++			+	
versnippering	++				
verwijdering			+	++	+
verspilling	+	+	+	+	++

Tabel 4.1 Stromen en milieuthema's (++ = sterke samenhang, + = minder sterke samenhang)

In tabel 4.1 is de indeling in milieuthema's gehanteerd, terwijl in tabel 4.2 de effectvariabelen biodiversiteit, gezondheid en welbevinden centraal staan. Met twee kruisjes is aange-

ven dat er een sterk verband is tussen de stroom en het milieu-thema, één kruisje wil zeggen dat de samenhang minder sterk is. Enige subjectiviteit bij de inschatting van de sterkte van de samenhang is niet te vermijden. Opgemerkt dient te worden dat de termijn waarop de effecten optreden sterk kan verschillen en dat de exacte aard van de effecten niet altijd bekend is. Met name verandering van klimaat heeft pas effecten op lange termijn die voor een groot deel onzeker zijn.

	verkeer	water	energie	afval	grondstoffen
Biodiversiteit	++	++	++	+	+
Gezondheid	++	+	++	+	
Welbevinden	++	+	++	+	+

Tabel 4.2 Stromen en effecten op biodiversiteit, gezondheid en welbevinden (++ = sterke samenhang, + = minder sterke samenhang)

Verkeer

Verkeersstromen van en naar de stad leiden tot milieu-effecten in de categorieën verzuring, verandering van klimaat, verstoring, versnippering, verwijdering en verspilling.

De emissies van stikstofoxyden (NO_x) en koolstofdioxyde (CO_2) door met name het autoverkeer dragen bij aan verzuring resp. verandering van klimaat. De emissies van schadelijke stoffen en het energieverbruik door het openbaar vervoer zijn over het algemeen lager dan die door het autoverkeer (Clerx en Verroen, 1992).

Bij verstoring als gevolg van verkeersstromen gaat het om lokale luchtverontreiniging, geluidhinder, geurhinder en risico's op ongevallen door transport van gevaarlijke stoffen. Het verkeer vormt de belangrijkste oorzaak van luchtverontreiniging in steden. Met name in het centrum van steden en langs drukke autowegen kunnen de concentraties van luchtverontreinigende stoffen vele malen hoger zijn dan gemiddeld. Sommige stoffen veroorzaken bij kortdurende blootstelling al effecten op de gezondheid, zoals koolmonoxyde (CO), stikstofdioxyde (NO_2), fijn stof en zwaveldioxyde (SO_2). Hierbij gaat het om vermindering van het zuurstoftransporterend vermogen van het bloed (CO) en aantasting van de luchtwegen (NO_2 , fijn stof en SO_2). Andere stoffen hebben pas bij langdurige blootstelling (bijvoorbeeld bij mensen die langs drukke verkeerswegen wonen) negatieve gezondheidseffecten. Genoemd kunnen worden Polycyclische Aromatische Koolwaterstoffen (PAK) en benzeen, die kankerverwekkend kunnen zijn, en lood, dat kan leiden tot bloedarmoede en effecten op het zenuwstelsel (RIVM, 1991).

Het wegverkeer is (na burenlawaai) de belangrijkste bron van geluidhinder, gevolgd door luchtvaart en industrie (RIVM, 1995). Blootstelling aan geluid kan negatieve effecten voor het welbevinden en de gezondheid hebben, zoals hinder, slaapverstoringen, stress, psychosociale effecten en vermindering van het prestatievermogen (Gezondheidsraad, 1994). Geurhinder van wegverkeer wordt waarschijnlijk veroorzaakt door zwaardere dieselmotoren van vrachtauto's en bussen. Vanwege het transport van gevaarlijke stoffen over de weg en het spoor speelt het verkeer een belangrijke rol bij het risico op ongevallen (RIVM, 1991).

Door de aanleg van verkeersinfrastructuur kunnen leefgebieden van dieren versnipperd raken. Deze versnippering leidt ertoe dat levensgemeenschappen geïsoleerd worden en zich niet meer onbelemmerd kunnen verspreiden, waardoor hun overlevingskansen verminderen (Ministerie van LNV, 1995a). Versnippering heeft behalve ecologische ook landschappelijke, psychologische en algemeen ruimtelijke effecten. Door versnippering kan de (beleving van) openheid, eenheid, overzichtelijkheid en identiteit van het landschap worden aangetast. Ook historisch waardevolle elementen en verkavelingspatronen kunnen verdwijnen als gevolg van versnippering. Behalve natuur kunnen ook andere functies, zoals recreatie en landbouw negatieve (of juist positieve) gevolgen van versnippering ondervinden (RMNO, 1990).

Onder verspilling wordt het beslag van menselijke activiteiten op onderling samenhangende natuurlijke voorraden verstaan. Als voorraden worden onderscheiden energiedragers, elementen en mineralen, biodiversiteit, ruimte en de milieuvorraden water, bodem en lucht. Bij de productie en het gebruik van voertuigen wordt een beslag gelegd op al deze voorraden.

Uit het bovenstaande blijkt dat verkeerstromen schadelijke effecten hebben op alle drie de effectvariabelen (biodiversiteit, gezondheid en welbevinden). Overigens heeft het verkeer ook een positieve invloed op het welbevinden door de toegenomen mogelijkheden om gebruik te maken van allerlei voorzieningen en om sociale contacten te onderhouden.

Water

Bij waterstromen die de stad in- en uitgaan kan gedacht worden aan drinkwater, oppervlaktewater en grondwater, maar ook aan regenwater als "verticale" stroom. Voor water zijn de milieuthema's verdroging, vermessing en verspreiding relevant.

Verdroging wordt in het algemeen veroorzaakt door verlaging van de grondwaterstand. Verstedelijking kan tot verdroging leiden wanneer drinkwater en water voor de industrie wordt gewonnen uit grondwater. Daarnaast kan verdroging optreden doordat vanwege de grote omvang van het verharde oppervlak in steden het regenwater niet de kans krijgt om de bodem in te trekken en het grondwater te voeden. Tenslotte kan ontwatering ten behoeve van stedelijke functies tot verdroging leiden (Ministerie van LNV, 1995a; Bueno de Mesquita e.a., 1994).

Terwijl verdroging vooral samenhangt met de onttrekking van water, gaat het bij vermessing en verspreiding om de verontreiniging van oppervlaktewater of grondwater met voedingsstoffen (vermessing) en milieugevaarlijke stoffen (verspreiding). Vermessing en verspreiding ontstaan door de lozing van afvalstoffen door huishoudens en bedrijven en door de inlaat van gebiedsvreemd vervuild water. In veel steden is er een gemengd rioolstelsel, waarin regenwater en huishoudelijk afvalwater samenkomen om naar rioolwaterzuiveringsinstallaties te worden afgevoerd. Tijdens hevige regenbuien kan een dergelijk rioolstelsel de overvloed van water niet aan en wordt het afvalwater direct op het oppervlaktewater geloosd ("riooloverstorten"). Omdat er in perioden met veel regen te weinig water wordt vastgehouden, moet in droge perioden veelal vervuild en voedselrijk oppervlaktewater van elders worden ingelaten (Hengeveld and Geldof, in: Van Engen e.a. (eds.), 1995; Deelstra, 1994a).

Het thema verspilling is voor waterstromen relevant, omdat water één van de milieuvorraden vormt (zie onder verkeer). De milieu-effecten van verspilling van (schoon) water vallen onder de thema's verdroging, vermessing en verspreiding.

De onttrekking of vervuiling van water heeft in de eerste plaats effecten op biodiversiteit. Door verdroging verdwijnen bijvoorbeeld planten en dieren die aan drassige of natte terrei-

nen zijn gebonden (Tamis e.a., in: Boersema e.a., 1994). Bij vermisting gaat het vooral om het afsterven van aquatische levensgemeenschappen door een overmaat aan voedingsstoffen (eutrofiëring). Verspreiding van stoffen leidt tot het optreden van risico's voor de gezondheid van mens en dier. Een deel van de schadelijke stoffen accumuleert in (water)bodems (Buena de Mesquita e.a., 1994).

Verontreiniging van water kan de mogelijkheden voor recreatie beperken en daardoor het welbevinden van mensen negatief beïnvloeden. Beschikbaarheid van schoon water is voor de gezondheid een noodzakelijke voorwaarde.

Bovengenoemde effecten hoeven bij de bouw van nieuwe steden of wijken niet noodzakelijkerwijs op te treden; veel effecten kunnen door technische maatregelen zelfs worden voorkomen. Bovendien verschillen de (mogelijke) effecten van verstedelijking op de waterhuishouding per gebied.

Energie

De belangrijkste milieuthema's die samenhangen met energiestromen van en naar de stad zijn verandering van klimaat en verzuring. Daarnaast kunnen verspreiding, verstoring, verwijdering en verspilling als relevante thema's worden genoemd. Bij de verbranding van fossiele brandstoffen - de meest toegepaste methode van energieopwekking - komt CO₂ vrij, dat de belangrijkste veroorzaker is van het broeikas-effect. Verzuring wordt veroorzaakt door emissies van stikstofoxiden (NO_x) en zwaveldioxyde (SO₂) bij de opwekking van electriciteit en het energieverbruik in het verkeer (RIVM, 1995).

Bij de conventionele opwekking van energie wordt vast afval (slakken en vlieg-as) geproduceerd. Bij het gebruik van kernenergie komt radioactief afval vrij (Annema e.a., 1993). De afvalproblematiek valt onder het thema verwijdering. Electriciteitscentrales dragen bij aan de verspreiding van milieugevaarlijke stoffen door de lozing van afvalwater. Het gaat hierbij onder andere om kwik, arseen, organische verbindingen en zware metalen (Ministerie van EZ, 1993).

Energie (of energiedragers) is één van de voorraden van het thema verspilling. Naast biodiversiteit en ruimte wordt energie wel als sleutelvoorraad gezien, omdat een duurzame ontwikkeling uiteindelijk afhankelijk zou zijn van de wijze waarop met deze drie voorraden wordt omgegaan (De Boer, 1995). De meeste energie wordt verkregen uit voorraden energiedragers met een eindig (niet-vernieuwbare) karakter, met name fossiele brandstoffen en uranium. Vanuit milieu-oogpunt is de uitputting van deze voorraden energiedragers op zichzelf nog niet problematisch, als wel het beslag dat bij de winning, het transport en het gebruik ervan wordt gedaan op de andere voorraden. Hierbij gaat het met name om het beslag op de voorraad lucht (de atmosfeer) door de emissie van CO₂ en NO_x, waardoor verandering van klimaat resp. verzuring optreedt (Annema e.a., 1993).

De milieu-effecten die samenhangen met energiestromen hebben betrekking op zowel biodiversiteit als de menselijke gezondheid en het welbevinden. Bij effecten op biodiversiteit kan gedacht worden aan het verlies van vitaliteit van bossen en vergrassing van de heide door verzuring en het verdwijnen van ecosystemen door klimaatverandering. Het broeikas-effect kan de gezondheid en het welbevinden aantasten in verband met het mogelijk verschuiven van landbouw- en droogtegebieden en de verspreiding van infectieziekten (RIVM, 1991).

Afval

De afvalproblematiek wordt onder het thema verwijdering gerekend. Het begrip verwijdering verwijst, in tegenstelling tot de andere thema's (behalve verspilling), niet naar effecten

in het milieu, maar naar menselijke activiteiten, te weten het inzamelen, verwerken, bewerken en vernietigen van afval (Nelissen, in: Glasbergen, 1994). In feite gaat het hierbij om activiteiten om potentiële milieu-effecten te voorkomen. Niettemin leiden afvalstromen die de stad verlaten tot een aantal milieu-effecten, die (ook) vallen onder de thema's verandering van klimaat, verspreiding, verstoring en verspilling. Afvalwater wordt in dit onderzoek bij water behandeld.

Afvalstromen dragen bij aan verandering van klimaat vanwege het vrijkomen van koolstofdioxide (CO₂) en methaan (CH₄) bij het rotten van afval op afvalstortplaatsen. CO₂ wordt daarnaast geëmitteerd bij de verbranding van afval. Afvalverbranding kan verder leiden tot verspreiding van schadelijke stoffen, zoals dioxinen en zware metalen (Nagelhout, pers. meded.). Verspreiding van stoffen wordt ook veroorzaakt doordat op afvalstortplaatsen vervuiling de bodem in lekt (Ministerie van LNV, 1995a).

In de omgeving van afvalverwerkingsinstallaties en stortplaatsen kan verstoring optreden, in verband met stank en verkeersstromen van en naar deze locaties. Lokale weerstanden tegen de locatiekeuze van deze installaties zijn daarom vaak groot (RIVM, 1991). Afvalstromen hangen samen met verspilling, omdat de omvang van afvalstromen indirect een weerspiegeling vormt van het beslag dat bij productie en consumptie gedaan wordt op voorraden van grondstoffen. Afval bevat bovendien vaak nog materialen die hergebruikt kunnen worden, waardoor een "onnodige" uitputting van voorraden optreedt. Bij de verwerking van afval wordt een beslag gedaan op milieuvorraden en ruimte. Met name het beslag van stortplaatsen op de voorraad ruimte is ook na het sluiten ervan langdurig merkbaar; een gesloten stortplaats kan slechts voor een zeer beperkt aantal (recreatieve) doeleinden worden gebruikt (Bouwer en Klaver, 1987). Radioactief afval vormt een apart probleem, omdat het zeer lang duurt voordat het onschadelijk is. De milieu-effecten die samenhangen met afvalstromen hebben betrekking op biodiversiteit, de gezondheid en het welbevinden.

Grondstoffen

Grondstoffen kunnen worden gedefinieerd als stoffen die verwerkt worden tot andere stoffen (die zelf weer grondstof kunnen zijn voor een volgend proces), tot eindproducten, of waaraan energie wordt ontleend. Hierbij kan gedacht worden aan niet-vernieuwbare delfstoffen (elementen en mineralen en fossiele brandstoffen) maar ook aan hernieuwbare organische grondstoffen zoals hout. Fossiele brandstoffen worden voornamelijk gebruikt als energiegroestof, maar ook voor de vervaardiging van industriële basisproducten (Grote Winkler Prins Encyclopedie, 1980).

Het belangrijkste milieuthema in relatie tot grondstoffen is verspilling. De door Annema e.a. (1993) genoemde voorraden biodiversiteit (bijvoorbeeld tropisch hardhout), elementen en mineralen en energiedragers kunnen als grondstof worden beschouwd. De uitputting van elementen, mineralen en energiedragers is vooral problematisch door het beslag dat bij winning op andere voorraden, zoals milieuvorraden, wordt gelegd (Annema e.a., 1993). Stromen van grondstoffen hangen daarnaast samen met verdroging, verandering van klimaat en verwijdering. Door de winning van oppervlakedelfstoffen, die gebruikt worden in de bouw en voor de aanleg van wegen worden grondwaterpeilen verlaagd, waardoor verdroging kan ontstaan. Daarnaast kan winning van oppervlakedelfstoffen negatieve effecten op het landschap hebben. De winning van grondstoffen kost energie, waardoor een bijdrage wordt geleverd aan het broeikas-effect. Het thema verwijdering heeft betrekking op de afvalstromen die ontstaan bij de winning van metalen en het smelten van ertsen (Annema e.a., 1993).

De relevante effectvariabelen in relatie tot grondstoffen zijn biodiversiteit en welbevinden. Bij biodiversiteit kan gedacht worden aan de kap van het tropisch regenwoud ten behoeve van het gebruik van hout als grondstof. Effecten op het welbevinden hebben betrekking op aantasting van het landschap door winning van oppervlaktedelfstoffen.

Behalve de genoemde stromen zijn er ook stromen van consumentenprodukten en halffabrikaten die de stad in- en uitgaan en (direct of indirect) allerlei milieu-effecten met zich meebrengen. In dit verband speelt de economische structuur van een stad een grote rol. De stroom produkten is echter te heterogeen om in algemene zin zinvolle uitspraken te doen over milieu-effecten. Een analyse van de effecten van afzonderlijke (soorten) produkten valt buiten het bestek van dit onderzoek. Omdat voor produktstromen bovendien geen belangrijke samenhang met verstedelijkingsvarianten wordt verondersteld, worden deze verder niet meegenomen. Sommige stromen veroorzaken niet direct milieu-effecten, maar zijn belangrijk omdat ze andere stromen kunnen vervangen; zo zou communicatieverkeer een substituut kunnen vormen voor fysieke verkeersstromen (Anderson e.a., 1996). In hoofdstuk 5 wordt hier nader op ingegaan.

In de hoofdstukken 5, 6 en 7 zal worden ingegaan op de invloed van verstedelijkingsvarianten op de genoemde stromen. Daarbij komen alleen de milieuthema's aan bod die in tabel 4.1 als meest relevant (++) zijn genoemd. In de opbouw van de hoofdstukken wordt de volgorde verstedelijkingsvarianten - stromen - milieu-effecten niet gevolgd; wel geldt dit analysekader als achterliggende gedachte.

4.3 Conclusie

Stromen van en naar de stad spelen een belangrijke rol bij de milieu-effecten die door stedelijke activiteiten worden veroorzaakt. Met name stromen van **verkeer** (verandering van klimaat, verzuring, verstoring, versnippering), **water** (verdroging, vermesting en verspreiding), **energie** (verandering van klimaat, verzuring), **afval** (verwijdering) en **grondstoffen** (verandering van klimaat, verspilling) zijn van belang. Daarom zullen deze stromen in de volgende hoofdstukken worden behandeld.

5. VERSTEDELIJKINGSVARIANTEN EN VERKEER

5.1 Inleiding

In dit hoofdstuk staat de invloed van verstedelijkingsvarianten op verkeersstromen centraal. In paragraaf 5.2 en 5.3 worden de effecten van verstedelijkingsvarianten op klimaatverandering en verzuring door verkeersemisies besproken. Een indicatie van de emissies die verandering van klimaat en verzuring veroorzaken is het totale aantal afgelegde reizigerskilometers of autokilometers. Daarom zal in paragraaf 5.2 en 5.3 de invloed van verstedelijkingsvarianten op de omvang van verkeersstromen en met name het autoverkeer centraal staan. In paragraaf 5.2 komt de wijze waarop verstedelijkingspatronen en -varianten de mobiliteit beïnvloeden aan de orde. In 5.3 worden de maatschappelijke en technologische factoren behandeld die in deze beïnvloeding een rol kunnen spelen. In paragraaf 5.4 wordt het thema verstoring voor wat betreft de aspecten geluidhinder, geurhinder en lokale luchtverontreiniging besproken. Paragraaf 5.5 gaat over de effecten van verstedelijkingsvarianten op versnippering van leefgebieden van fauna. De thema's verwijdering en verspilling (hoofdstuk 4) worden buiten beschouwing gelaten. In paragraaf 5.6 wordt de bruikbaarheid van het in hoofdstuk 1 en 2 behandelde analysekader voor wat betreft verkeersstromen behandeld.

5.2 Mobiliteitseffecten van verstedelijkingspatronen en -varianten

Internationale literatuur

Hoewel er veel onderzoek is gedaan naar de invloed van verstedelijkingspatronen op het verkeer, heeft dit niet tot consensus geleid (Breheny, 1992). De meningsverschillen hebben betrekking op de vraag in welke mate verstedelijkingspatronen verkeersintensiteiten beïnvloeden en de vraag welke patronen leiden tot de grootste beperking van de mobiliteit. Volgens Anderson e.a. (1996) is de hoeveelheid empirisch onderzoek naar dit onderwerp, gezien de complexiteit ervan, gering te noemen.

In het beleid wordt veelal verondersteld dat compacte verstedelijking leidt tot beperking van de mobiliteit, vanwege de kortere verplaatsingsafstanden en betere mogelijkheden voor openbaar vervoer en langzaam verkeer (Breheny, 1992). De compacte stad-gedachte wordt ondersteund door veel onderzoeken waaruit blijkt dat een geconcentreerd verstedelijkingspatroon leidt tot een beperking van het autoverkeer (Owens, 1992). Uit een onderzoek van Newman en Kenworthy uit 1990, waarin 32 grote steden over de hele wereld zijn vergeleken, blijkt dat verschillen in het autogebruik voor een groot deel verklaard kunnen worden door verschillen in bevolkingsdichtheid; er is een sterke negatieve relatie tussen dichtheid en autogebruik. Dit hangt vooral samen met de betere mogelijkheden voor het openbaar vervoer bij hoge dichtheden (Newman and Kenworthy, 1996). Hoewel dit onderzoek van verschillende kanten is bekritiseerd (Anderson e.a., 1996), wijzen ook andere auteurs op het feit dat hoge dichtheden de mobiliteit kunnen beperken. Omdat ook andere factoren een rol spelen, hoeft dit echter niet altijd het geval te zijn (McLaren, 1992; Owens, 1986). Uit een onderzoek van Rickaby (1987), waarin de mobiliteitseffecten van zes hypothetische verstedelijkingspatronen zijn berekend, blijkt dat zowel een geconcentreerd verstedelijkingspatroon als een patroon van "gedecentraliseerde concentratie" (bundeling van verstedelijking op enige afstand van de bestaande steden) tot mobiliteitsbeperking kunnen leiden.

Volgens Owens (1992) zal "gedecentraliseerde concentratie" echter niet tot vermindering van verkeersstromen leiden, wanneer de kosten van verplaatsingen relatief laag zijn. Volgens Breheny (1992) is "gedecentraliseerde concentratie" alleen gunstig als nieuwe nederzettingen óf ver van óf heel dichtbij bestaande steden gelokaliseerd worden. Behalve de dichtheid en mate van concentratie van verstedelijking is de ruimtelijke verdeling van functies van invloed op de omvang en samenstelling van verkeersstromen. Een goede menging van wonen, werkgelegenheid en voorzieningen kan de mobiliteit beperken (Verroen e.a., 1995). Een te sterke centralisatie van werkgelegenheid en voorzieningen binnen een stad is dan ook niet wenselijk (Owens, 1986; Anderson e.a., 1996). Behalve ruimtelijke nabijheid van functies is ook de kwantitatieve verhouding tussen arbeidsplaatsen en woningen in een gebied van grote invloed op het verkeer. Een onevenwichtige verhouding tussen wonen en werken leidt tot grote forensenstromen. Omdat er echter sprake is van een toenemende specialisatie en segmentering van de arbeidsmarkt oriënteren werkenden zich steeds meer op een groter gebied en is het streven naar een gelijk *aantal* arbeidsplaatsen en werkenden in een regio niet voldoende om de mobiliteit te beperken (Clerx en Verroen, 1992).

Volgens Breheny (1992) moet van menging van functies geen grote beperking van de mobiliteit worden verwacht, omdat veel verkeer is gericht op specifieke bestemmingen, die niet in de buurt van de woning zijn te vinden. Ook door lage brandstofprijzen kan het effect van menging worden beperkt. Bovendien kunnen mensen ook bij korte afstanden kiezen voor de auto, vanwege de onveiligheid op straat of slechte voorzieningen voor voetgangers of fietsverkeer. Uit onderzoek van Gordijn (1995) blijkt dat de omvang van de mobiliteit minder door de ruimtelijke afstemming van wonen en werken dan door de afstandsgevoeligheid van de bevolking wordt bepaald. Onder de afstandsgevoeligheid wordt hier verstaan de mate waarin afstand een belemmerende factor vormt bij beslissingen omtrent het reisgedrag. Een hoge afstandsgevoeligheid betekent dat grote afstanden een relatief sterke belemmering vormen voor verplaatsingen. Volgens Gordijn (1995) wordt de afstandsgevoeligheid onder meer bepaald door de inkomensontwikkeling, de energieprijzen, technologische ontwikkelingen en de hoeveelheid en kwaliteit van de infrastructuur. Te verwachten is dat de afstandsgevoeligheid in Nederland de komende jaren (verder) afneemt (Gordijn, 1995). In tabel 5.1 is het aandeel van de verschillende vervoersmotieven in het totale aantal afgelegde kilometers weergegeven. Uit de tabel blijkt dat het woon-werkverkeer slechts 23 procent van het totale kilometrage omvat.

Handy (1992) wijst op het feit dat het reisgedrag van mensen niet alleen door kenmerken van de eigen woonplaats maar ook door de ruimtelijke structuur van de grotere regio wordt beïnvloed. Uit case-studies blijkt dat in plaatsen met een goede bereikbaarheid van lokale voorzieningen, menging van functies en hoge dichtheden weliswaar het aantal lokale verplaatsingen - met name van langzaam verkeer - relatief groot is, maar dat dit niet noodzakelijkerwijs leidt tot minder reizen naar andere plaatsen in de regio.

Ondanks het feit dat in de literatuur geen volledige consensus bestaat over de invloed van verstedelijkingspatronen op het verkeer, lijkt te kunnen worden geconcludeerd dat een zekere mate van concentratie, een hoge dichtheid en een goede menging van functies de omvang van verkeersstromen *kunnen* beperken. De werkelijke invloed van ruimtelijke variabelen is afhankelijk van maatschappelijke condities, zoals de inkomensontwikkeling, levensstijlen en de kosten van verplaatsingen. Volgens Anderson e.a. (1996) kunnen de effecten van ruimtelijke structuren daarom niet los van sociale en economische trends worden beschouwd. Veranderingen in ruimtelijke patronen vormen een noodzakelijke maar geen voldoende voorwaarde voor beperking van de mobiliteit (Owens, 1992; Owens, 1986;

Anderson e.a., 1996). Op de invloed van maatschappelijke ontwikkelingen zal in paragraaf 5.3 nader worden ingegaan.

Vervoersmotief	Percentage
Woon-werk	23
Sociaal	22
Recreatief	18
Overig	37

Tabel 5.1 Aandelen van vervoersmotieven in het totale kilometrage, voor alle vervoerwijzen samen, in 1994 (bron: Ministerie van V&W, 1995b)

Nederlandse studies

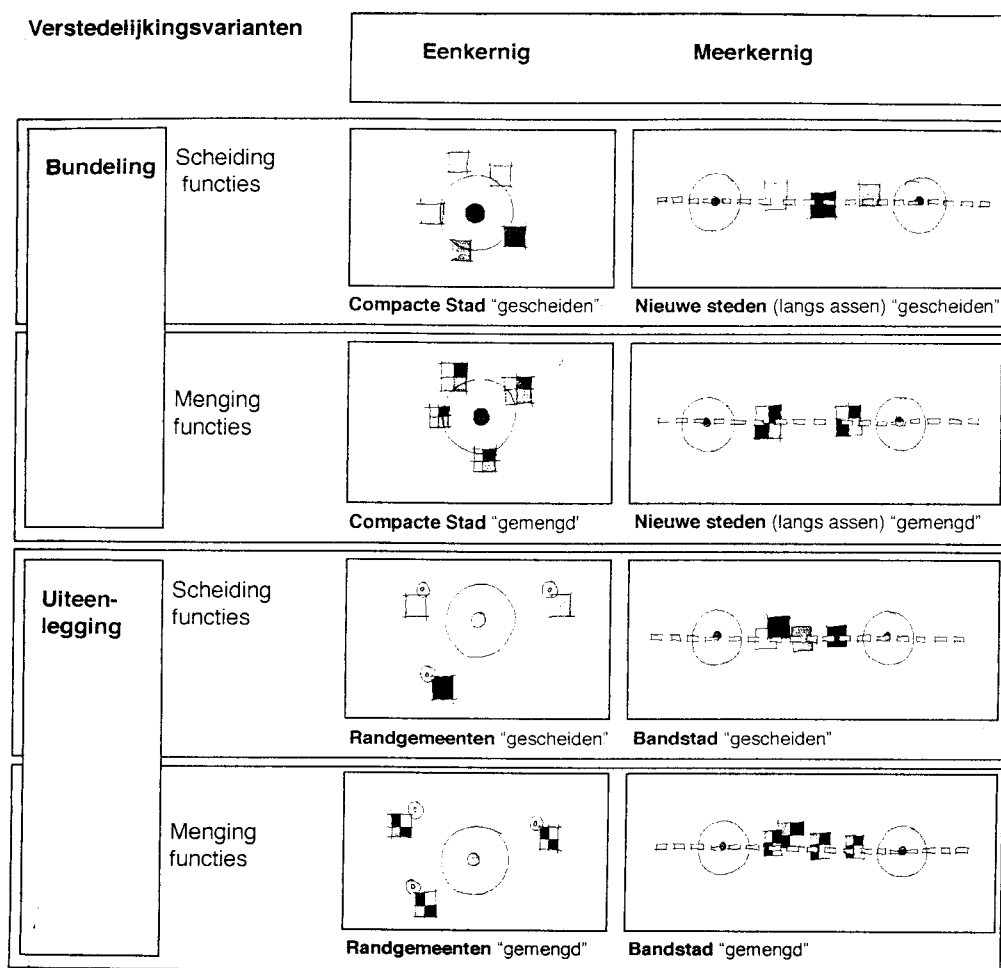
Er zijn in Nederland verschillende studies uitgevoerd naar de invloed van verstedelijkingsvarianten op verkeer en vervoer. Eén van deze studies is een in opdracht van het Ministerie van Verkeer en Waterstaat uitgevoerd onderzoek van TNO-INRO ("Modeltoets Randstadvisie", Verroen e.a., 1995), dat betrekking heeft op de effecten van alternatieve verstedelijkingsvarianten voor de Stedenring Centraal Nederland. Omdat deze studie betrekking heeft op de periode die in dit onderzoek centraal staat (2005-2015), wordt deze het eerst en het meest uitgebreid behandeld.

Behalve voor de Stedenring als geheel zijn ook analyses uitgevoerd voor de afzonderlijke deelgebieden de Randstad en Brabant/Gelderland. Naast de omvang van verkeersstromen zijn ook bereikbaarheids- en betaalbaarheidsaspecten onderzocht; hier wordt echter niet op ingegaan. Door de onderzoekers zijn vijf keuzemogelijkheden onderscheiden, die een rol spelen bij de keuze tussen verschillende varianten. Deze zogenaamde "kritische ontwerpdimensies" zijn de volgende:

- 1) uitgaan van *eenkernig georiënteerde locaties*, waarbij de afstand tot het centrum van het dichtstbijzijnde stadsgewest veel kleiner is dan tot andere stadsgewesten, of van *meerkernig georiënteerde locaties*, waarbij de centra van meerdere stadsgewesten op vergelijkbare afstand liggen;
- 2) uitgaan van locaties *dichtbij* het centrum van één of meerdere stadsgewesten of van *verafgelegen* locaties;
- 3) uitgaan van locaties *dicht bij stations* van openbaar vervoer (trein, metro, tram) of *ver van deze stations*;
- 4) uitgaan van *bundeling* van verstedelijking in grotere eenheden of van kleinschalige meer *uiteengelegde* locaties;
- 5) uitgaan van locaties waarin wonen, werken en voorzieningen *gemengd* worden ontwikkeld of van *gescheiden* locaties voor deze functies.

Bij eenkernige oriëntatie wordt verondersteld dat het dagelijkse activiteitenpatroon zich voornamelijk binnen het stadsgewest afspeelt. Bij meerkernige oriëntatie wordt uitgegaan van de ontwikkeling van netwerken van steden, onder de veronderstelling dat het dagelijkse activiteitenpatroon zich uitspreidt over meerdere stadsgewesten. Nabijheid tot bestaande

steden kan ook betekenen dat locaties dicht bij meerdere stedelijke gebieden liggen, dus tussen de stadsgewesten. Er kan dus een onderscheid gemaakt worden tussen eenkernige en meerkernige nabijheid. In bijlage 1 zijn de kritische ontwerpdimensies schematisch weergegeven. De onderzoekers zijn er vanuit gegaan dat over de invloed van de ontwerpdimensies 2) en 3) weinig onzekerheid bestaat; verstedelijking dichtbij de bestaande stadsgewesten en in goede aansluiting op openbaar vervoer leidt tot beperking van de groei van het autoverkeer. Daarom is bij alle beschouwde varianten uitgegaan van locaties in de nabijheid van stadsgewesten en stations van openbaar vervoer en zijn alleen de mobiliteitseffecten van de overige drie dimensies onderzocht. Van acht varianten met elk een specifieke combinatie van deze drie ontwerpdimensies zijn de effecten doorgerekend op verschillende indicatoren, waaronder het aantal autokilometers. Het vrachtverkeer is niet meegenomen. Uitgegaan is van de bouw van 250.000 woningen in de Randstad en circa 112.500 in Brabant/Gelderland. In figuur 5.1 zijn de varianten schematisch weergegeven.



Figuur 5.1 Onderzochte verstedelijkingsvarianten "Modeltoets Randstadvisie"

In bijlage 2 is het ruimtelijk beeld van de locaties die voldoen aan de ontwerpdimensies nabijheid, een- en meerkernigheid en aansluiting op openbaar vervoer weergegeven. In tabel 5.2 is voor de acht varianten de procentuele groei van het autogebruik en het openbaar vervoer-gebruik vermeld. De cijfers hebben betrekking op het verkeer in het gebied waar de ruimtelijke structuur wordt gevarieerd. Wanneer bijvoorbeeld in de Randstad gekozen wordt voor de variant "Compacte Stad gescheiden" is de groei van het totale autoverkeer in de Randstad 5,25 procent. Dat de groei ondanks het toenemende autobezit relatief beperkt blijft, is vooral toe te schrijven aan de veronderstelde stijging van de variabele autokosten en aan het feit dat na 2005 het aanbod aan wegen constant is gehouden. Om de effecten op de uitstoot van CO₂ en NO_x te bepalen, zou voor elk van de vervoerswijzen (auto/openbaar vervoer) het aantal afgelegde kilometers vermenigvuldigd moeten worden met de emissie per reizigerkilometer. De uitstoot van CO₂ en NO_x door het openbaar vervoer is lager dan de auto (Clerx en Verroen, 1992). Omdat de verhouding in milieubelasting per afgelegde kilometer voor de onderlinge vergelijking tussen de varianten in dit geval niet veel uitmaakt (Van Wee, pers. meded.), is enkel het aantal afgelegde kilometers vermeld.

	Randstad Auto	Randstad OV	Brabant/ Gelderland Auto	Brabant/ Gelderland OV
1. Compacte Stad "gescheiden"	5,25	8,59	5,74	13,96
2. Compacte Stad "gemengd"	4,29	6,47	4,46	7,49
3. Randgemeenten "gescheiden"	4,63	6,30	5,04	7,26
4. Randgemeenten "gemengd"	3,80	4,30	4,60	4,58
5. Nieuwe Steden "gescheiden"	4,83	9,01	6,64	15,53
6. Nieuwe Steden "gemengd"	3,49	6,03	4,49	9,93
7. Bandstad "gescheiden"	4,64	6,68	8,42	13,32
8. Bandstad "gemengd"	3,11	4,03	6,13	7,03

Tabel 5.2 *Geraamde groei van de mobiliteit in de periode 2005-2015 per verstedelijkingsvariant (groei van het aantal reizigerskilometers van autobestuurders resp. reizigerskilometers openbaar vervoer, in procenten) (Bron: Verroen e.a., 1995)*

Uit de tabel blijkt dat in de *Randstad* de variant "Bandstad gemengd" tot de geringste groei van het autoverkeer leidt, terwijl in de variant "Compacte stad gescheiden" de toename het grootst is. In *Brabant/Gelderland* scoren de varianten "Compacte Stad gemengd" en "Randgemeenten gemengd" gunstig en is de variant "Bandstad gescheiden" het meest ongunstig. Het verschil in autogebruik bij de varianten bedraagt in de *Randstad* circa 2 procent, in *Brabant/Gelderland* 4 procent. Gemiddeld voor de gehele Stedenring is het verschil ruim 2 procent. Hoewel dit percentage gering lijkt, moet bedacht worden dat het betrekking heeft

op het verschil in de groei van het *totale* autoverkeer. Wanneer het verschil tussen de varianten enkel wordt gerelateerd aan de *toename* is het verschil veel hoger, namelijk 41 procent² in de Randstad en 47 procent in Brabant/Gelderland. Bovendien is het maximale verschil tussen de varianten substantieel te noemen, wanneer men bedenkt dat slechts een klein deel van de ruimtelijke structuur is gevarieerd (voor de gehele Stedenring 6% van de woningvoorraad en 12% van de arbeidsplaatsen), dat locaties ver van de stadsgewesten en met een slechte aansluiting op het openbaar vervoer niet zijn meegenomen en dat slechts een periode van 10 jaar is beschouwd. In vergelijking met andere beleidsmaatregelen, zoals verandering van de variabele autokosten, uitbreiding van het openbaar vervoer-aanbod en parkeerbeleid, hebben veranderingen in de ruimtelijke structuur bovendien een belangrijke invloed.

Uit tabel 5.2 blijkt verder dat de varianten waarin wonen, werken en voorzieningen gemengd zijn tot minder autoverkeer leiden dan varianten waarin deze functies worden gescheiden. Een goede menging van functies reduceert de groei van het autoverkeer. Ook het gebruik van het openbaar vervoer neemt bij menging af; het langzaam verkeer daarentegen neemt toe (dit laatste is niet in de tabel aangegeven). Tevens kan geconstateerd worden dat de varianten waarbij sprake is van meerkernige oriëntatie (Nieuwe Steden en Bandstad) in de *Randstad* een geringere groei te zien geven dan de varianten met eenkernige oriëntatie. Dit komt doordat er in de Randstad na 2005 nog maar een beperkt aanbod is van gunstig gelegen eenkernig georiënteerde locaties. Deze locaties liggen al gauw ver van (de hoofdtransportassen tussen) de bestaande stadsgewesten. In *Brabant/Gelderland* doen de eenkernig georiënteerde locaties het beter (Compacte Stad en Randgemeenten).

In tabel 5.3 is aangegeven wat de invloed is van de kritische ontwerpdimensies op de automobiliteit. Het getal geeft het effect van de dimensie ten opzichte van de tegenhanger weer; functiemenging leidt voor de Stedenring als geheel bijvoorbeeld ten opzichte van functiescheiding tot 1,3 procent minder groei. De variatie in het autogebruik wordt vooral bepaald door de ontwerpdimensie "menging versus scheiding".

	Stedenring	Randstad	Brabant/Gelderland
Menging	-1,3	-1,3	-1,4
Bundeling	-0,0	+0,2	-0,2
Meerkernigheid	+0,3	-0,2	+0,9

Tabel 5.3 *Invloed kritische ontwerpdimensies op de automobiliteit voor de Stedenring Centraal Nederland (bron: Verroen e.a., 1995)*

Hoewel de tabel suggereert dat bundeling van verstedelijking in de Randstad de automobiliteit doet toenemen, kunnen hier eigenlijk geen conclusies aan worden verbonden. Omdat er in de Randstad weinig mogelijkheden voor uiteengelegde locaties zijn (althans nabij de

² $((5,25-3,11):5,25) \times 100$

stadsgewesten), kon geen goede vergelijking worden gemaakt tussen gebundelde en uiteen-gelegde locaties. Als met deze vertekening rekening wordt gehouden, is in de Randstad niet de variant "Bandstad gemengd" maar de variant "Nieuwe Steden gemengd" het meest gunstig voor de beperking van het autoverkeer.

Voor een aantal varianten is berekend in hoeverre de verschillen tussen de varianten wijzigen wanneer bepaalde veronderstellingen worden aangepast. Hierbij is gekeken naar het effect van uitbreiding van het infrastructuur-aanbod, een aangepast prijsbeleid, een sterker accent op verdichting en een verschuiving van een deel van de woningen van de Randstad naar Brabant en Gelderland. Een uitbreiding van het infrastructuraanbod voor de auto en het openbaar vervoer blijkt in alle varianten tot een forse groei van het autogebruik te leiden (zo'n 6 procent extra groei), maar niet tot wijziging van de rangordening van de varianten. Ook een aangepast prijsbeleid, waarbij de variabele autokosten constant worden gehouden (in plaats van een stijging), leidt niet tot verandering van de rangordening. Voor de varianten "Compacte Stad Gemengd" in Brabant/Gelderland en "Bandstad Gemengd" in de Randstad is het effect van extra verdichting onderzocht. In de Randstad leidt verdichting in de variant "Bandstad gemengd" tot een reductie van de groei van het autoverkeer van 0,3 procent. Door de kortere afstanden tot haltes en stations neemt het gebruik van het openbaar vervoer toe met 0,9 procent. Ook het langzaam verkeer neemt bij verdichting toe. Bij de variant "Compacte Stad gemengd" in Brabant/Gelderland leidt verdichting vooral tot meer langzaam verkeer, maar blijft het autogebruik gelijk. Het effect van extra verdichting verschilt dus enigszins tussen de varianten. Een verschuiving van de taakstelling, waarbij 50.000 woningen extra in Brabant/Gelderland worden gebouwd en 50.000 minder in de Randstad, heeft weinig invloed op het autoverkeer. Voor de Stedenring als geheel is onderzocht in hoeverre de invloed van verstedelijkingsvarianten op het autogebruik verschilt per vervoersmotief. In tabel 5.4 is het maximale verschil tussen de varianten in reizigerskilometers (auto en OV) uitgesplitst naar de verschillende vervoersmotieven.

Motief	Maximale verschil
Woon-werk	6
Woon-voorzieningen	2
Woon-overig	1
Niet woongebonden	2
Alle motieven samen	2

Tabel 5.4 Maximale verschil in groeipercentages 2005-2015 tussen de varianten voor de reizigerskilometrages per motief, in procentpunten (bron: Verroen e.a., 1995)

Uit de tabel komt duidelijk naar voren dat het verschil tussen de scores van de varianten vooral verklaard wordt door veranderingen in de omvang van het woon-werk-verkeer. Andere vervoersmotieven zijn minder gevoelig voor de verstedelijkingsvorm. Het minst gevoelig blijkt het motief woon-overig, dat vooral betrekking heeft op het sociaal-recreatief verkeer.

Geconcludeerd kan worden dat in de *Randstad* het bouwen van nieuwe, meerkernig georiënteerde steden met gemengde functies langs de assen tussen de stadsgewesten en met een goede aansluiting op openbaar vervoer (variant "Nieuwe Steden gemengd") tot het laagste aantal autokilometers leidt. Een hogere verdichting binnen bestaand stedelijk gebied en op nieuwbouwlocaties kan het mobiliteitsbeperkende effect enigszins versterken. Omdat na 2005 in de *Randstad* (met name in de zuidvleugel) nog maar een beperkt aanbod van gunstig gelegen eenkernig georiënteerde locaties beschikbaar is, zou het doortrekken van het compacte stad-beleid (waarbij uitgegaan wordt van eenkernige oriëntatie) in de *Randstad* tot minder gunstige mobiliteitseffecten leiden. Voor *Brabant* en *Gelderland* geldt dat de compacte stad-variant goed blijft scoren wat betreft de beperking van de groei van de automobiliteit. Ook het bouwen in randgemeenten van bestaande steden kan hier gunstig zijn.

Behalve "Modeltoets Randstadvisie" zijn er enkele andere studies gedaan naar de invloed van verstedelijkingsvarianten op verkeer en vervoer. Voor een nadere bespreking en vergelijking van deze studies wordt verwezen naar Van Wee (1993) en Van Wee en Van der Hoorn (1996). Met name "Strategische Studie Randstad" (de Jong e.a., 1986) en "Wisselwerking van ruimtelijk inrichting en mobiliteit in de Randstad" van de Werkgroep ER-OMOBIL (1989) zijn in dit kader van belang. Uit beide studies blijkt dat zowel verstedelijking op de ring van de *Randstad* als bouwen in het Groene Hart kunnen resulteren in een relatief laag niveau van autogebruik. Deze conclusie lijkt redelijk overeen te komen met de conclusies uit "Modeltoets Randstadvisie", waaruit blijkt dat locaties *op* en *binnen* de ring (in het Groene Hart) gunstige mobiliteitseffecten kunnen hebben. Sommige locaties in het Groene Hart zijn gunstig voor de beperking van de automobiliteit, bijvoorbeeld omdat ze gunstig liggen ten opzichte van meerdere stadsgewesten (meerkernige oriëntatie) of omdat een goede aansluiting op het openbaar vervoer mogelijk is. Bovendien zou een rol kunnen spelen dat bij verstedelijking en aanleg van infrastructuur in het Groene Hart in bepaalde gevallen een meer directe verbinding tussen de stadsgewesten mogelijk is, omdat een verbinding langs de "ring" soms een langere route betekent (Van Wee, pers. meded.). Overigens is er volgens Van Wee en Van der Hoorn (1996) in de modellen die in de verschillende studies zijn gehanteerd sprake van een overschatting van de invloed van de ruimtelijke ordening op verkeer en vervoer³. Toch zijn de effecten volgens Van Wee (pers. meded.) zodanig dat het belangrijk is om bij de locatiekeuze van verstedelijking rekening te houden met de gevolgen voor de mobiliteit.

Op basis van de hierboven behandelde literatuur is het mogelijk om globaal de invloed van de VERSRING-concepten op verkeersstromen aan te geven. Hierbij wordt alleen het autoverkeer in beschouwing genomen, omdat dit voor de milieubelasting het meest relevant

³ Volgens Van Wee en Van der Hoorn (1996) wordt deze overschatting in de eerste plaats veroorzaakt doordat in de modellen geen rekening wordt gehouden met het feit dat mensen een relatief constante of hooguit beperkt toenemende hoeveelheid tijd aan verplaatsen besteden. Bovendien wordt de bevolking verdeeld over bevolkingsgroepen die verondersteld worden homogeen te zijn in hun verplaatsingsgedrag, terwijl dit niet het geval hoeft te zijn. Een derde reden is dat geen rekening wordt gehouden met het incrementele karakter van wijzigingen in de ruimtelijke structuur en infrastructuur en terugkoppelingen in de modellen geen rol spelen. Tenslotte is het twijfelachtig of de in de modellen berekende "lange termijn evenwichtssituatie" inderdaad al in het zichtjaar optreedt vanwege het trage karakter van aanpassingsprocessen (verhuizingen van werknemers).

is. In tabel 5.5 is aangegeven hoe de VERSRING-concepten "scoren" op enkele belangrijke dimensies van verstedelijkingsvarianten, uitgaande van het gegeven dat nabijheid, goede aansluiting op het openbaar vervoer en hoge dichtheid het autogebruik kunnen beperken. De dimensie menging/scheiding van functies ontbreekt, omdat deze niet varieert tussen de VERSRING-concepten. De dimensies bundeling en oriëntatie zijn ook weggelaten, omdat hun invloed gering is en/of moeilijk uit het kaartbeeld is af te leiden.

	RING	SCHUIF	INFRA	DIFFUUS	VERDICHTING
Nabijheid	+	+	-	-	+
Aansluiting OV	+	+	+	-	+
Dichtheid	+/-	+/-	+/-	-	+

Tabel 5.5 Score van de VERSRING-concepten op de ontwerpdimensies nabijheid, aansluiting op openbaar vervoer en dichtheid (+ = relatief gunstig voor het milieu, - = relatief ongunstig voor het milieu)

Het concept RING lijkt enigszins op de variant die volgens het onderzoek van Verroen e.a. (1995) tot het laagste aantal kilometers leidt. In de Randstad wordt uitgegaan van verstedelijking langs de assen tussen de stadsgewesten, terwijl in Brabant en Gelderland het compacte stad-model wordt gehanteerd. Het concept SCHUIF hoeft echter niet veel ongunstiger te zijn omdat de locaties over het algemeen nabij bestaande steden liggen. Een goede aansluiting op het openbaar vervoer lijkt in veel gevallen ook mogelijk. Wellicht is het concept INFRA wat ongunstiger dan RING en SCHUIF, omdat er weinig mogelijkheden zijn voor lokaal openbaar vervoer in de richting haaks op die van de spoorlijn. Voor het sociale verkeer en het gebruik maken van voorzieningen zal daarom in sterke mate een beroep worden gedaan op de auto (Lemmers, 1995). Bovendien zullen spoorwegovergangen of tunnels moeten worden aangelegd. Omdat het erg duur wordt om dit op veel plaatsen te doen, zullen mensen veel moeten omrijden om de overkant van de spoorlijn te bereiken. Ook dit kan het gebruik van de auto bevorderen. De nabijheid tot bestaande treinstations is in het concept INFRA in lang niet alle gevallen gunstig. In tegenstelling tot de bedoelingen die aan het concept ten grondslag liggen, is het goed mogelijk dat het concept INFRA leidt tot relatief veel autoverkeer. Het concept DIFFUUS scoort op alle dimensies slecht. Het concept VERDICHTING daarentegen scoort op alle dimensies positief.

Omdat niet duidelijk is welke van de in de tabel genoemde dimensies het zwaarst weegt, kan geen volledige rangorde worden opgesteld wat betreft de invloed van de VERSRING-concepten op de automobiliteit. Wel lijkt te kunnen worden geconcludeerd dat het concept VERDICHTING de laagste en het concept DIFFUUS de hoogste groei van het autoverkeer met zich meebrengt. Het verschil tussen deze twee meest extreme varianten is echter niet exact aan te geven. Het maximale verschil tussen de varianten in "Modeltoets Randstadvisie" bedroeg 2 procent. Omdat in deze studie - in tegenstelling tot de VERSRING-concepten - alleen locaties niet te ver van bestaande steden en met goede aansluiting op het openbaar vervoer zijn beschouwd, zou verwacht mogen worden dat het maximale verschil bij

de VERSRING-concepten groter is. Verder moet in het concept DIFFUUS meer extra infrastructuur worden aangelegd dan in de andere concepten, wat extra verkeer aantrekt. Aan de andere kant is in "Modeltoets Randstadvisie" de menging van functies gevarieerd, terwijl dat bij de VERSRING-concepten niet het geval is. Door dit laatste kunnen de verschillen tussen de VERSRING-concepten weer kleiner zijn. Alles overziend komt een schatting van het verschil tussen de varianten VERDICHTING en DIFFUUS uit op zo'n 4 of 5 procent (Verroen, pers. meded.)⁴.

In tabel 5.6 zijn de effecten van de VERSRING-concepten samengevat. Benadrukt moet worden dat de verschillen tussen RING, SCHUIF en INFRA eigenlijk niet goed zijn aan te geven. In de tabel hebben ze de score +/- gekregen omdat ze tussen DIFFUUS en VERDICHTING in liggen.

	RING	SCHUIF	INFRA	DIFFUUS	VERDICHTING
Aantal auto-kilometers (CO ₂ en NO _x)	+/-	+/-	+/-	-	+

Tabel 5.6 Invloed van de VERSRING-concepten op de automobiliteit (+ = relatief gunstig voor het milieu, - = relatief ongunstig voor het milieu)

Recreatief verkeer

Bij de conclusies met betrekking tot de scores van verstedelijkingsvarianten moet bedacht worden dat enkel de locatie van stedelijke functies is gevarieerd. De locatie van recreatieve functies buiten de stad, zoals natuurgebieden en attractieparken, zou echter ook verkeersstromen kunnen beïnvloeden. Uit tabel 5.1 blijkt dat het recreatieve verkeer ongeveer 18 procent van het totale aantal afgelegde kilometers omvat. Het is mogelijk dat het concept DIFFUUS minder ongunstig zou uitvallen wanneer in de buurt van de woonlocaties goede recreatievoorzieningen worden gepland. Door in de nabije omgeving recreatie mogelijk te maken, zou het recreatieve verkeer van mensen uit de Randstad over grotere afstanden (bijvoorbeeld naar de Veluwe) kunnen worden beperkt. Omdat het Groene Hart vanwege het landschap en het aanbod aan recreatiewater goede mogelijkheden voor recreatie heeft, zou men kunnen veronderstellen dat gespreide verstedelijking in het Groene Hart (volgens een soort "Parkstad"-model) per saldo niet ongunstig hoeft te zijn voor de beperking van het autoverkeer.

In tabel 5.7 is het aandeel van de verschillende categorieën in het recreatieve verkeer weergegeven. Hierbij zijn alleen eendaagse uitstapjes die langer duren dan twee uur meegerekend. Hoewel de tabel betrekking heeft op Nederland en niet op de Stedenring Centraal Nederland, lijkt er geen reden om te veronderstellen dat de verhoudingen substantieel verschillen.

⁴ Onafhankelijk van Verroen komt Van Wee (pers. meded.) uit op dezelfde schatting.

Vervoersmotief	Percentage
Strand	3
Watersport	1
Dagje uit	22
Uitgaan	18
Sport	15
Recreatief winkelen	20
Fietsen/wandelen	9
Toeren met de auto	12

Tabel 5.7 *Verdeling van de autokilometrage over submotieven binnen recreatief verkeer (bron: Ministerie van V&W, 1995b)*

Uit de tabel kan worden afgeleid dat het aandeel van het recreatieve verkeer dat gericht is op landschappelijk kwaliteiten of natuurwaarden, zoals die in het Groene Hart zijn te vinden, gering is. Waarschijnlijk betreft het een deel van het verkeer in de categorieën "dagje uit", "toeren met de auto" en "fietsen/wandelen". De categorie "dagje uit" omvat echter ook het bezoek aan musea, attractieparken en dierentuinen (Ministerie van V&W, 1995b). Het is de vraag in hoeverre het verkeer in de categorie "toeren met de auto" door de ruimtelijke ordening kan worden beïnvloed, omdat in deze categorie het autorijden zelf een recreatieve activiteit is. Het aandeel van het recreatieve verkeer dat gericht is op landschap en natuur buiten de Randstad (zoals de Veluwe) en dat verminderd zou kunnen worden door natuurgebieden in de nabijheid van nieuwe woonlocaties te plannen zal daarom niet groot zijn. Daarom lijkt het niet waarschijnlijk dat de extra groei van het autoverkeer in het concept DIFFUUS gecompenseerd kan worden door aanleg van recreatieve voorzieningen in de buurt van woonlocaties. Bovendien kan nabijheid van recreatiegebieden er toe leiden dat het *aantal* verplaatsingen toeneemt. De mogelijke invloed op het recreatieve verkeer lijkt daarom geen zwaarwegend argument te zijn voor de keuze van een bepaalde verstedelijkingsvariant. Toch kan het zinvol zijn om nader te onderzoeken in hoeverre het recreatieve verkeer beïnvloed kan worden door de ruimtelijke ordening van functies. Volgens het Ministerie van V&W (1995b) is hierover weinig bekend.

Ook de locatie van voorzieningen binnen de stad, zoals supermarkten en uitgaansgelegenheden, zou verplaatsingsafstanden en de keuze van het vervoermiddel kunnen beïnvloeden. Omdat in grotere plaatsen het draagvlak voor hoogwaardige voorzieningen in het algemeen groter is dan in kleinere plaatsen, zou de invloed van bundeling van verstedelijking groter kunnen zijn dan door Verroen e.a. (1995) is gesuggereerd. In de studie van Verroen e.a. (1995) zijn immers enkel woon- en werklocaties gevarieerd. Het is echter de vraag in hoeverre de aanwezigheid van voorzieningen op korte afstand van de woning het aantal verplaatsingen naar vergelijkbare bestemmingen op grotere afstand kan verminderen. Volgens Handy (1992) hoeft dit niet het geval te zijn. Omdat een groot deel van de verplaatsingen zich binnen de stad afspeelt, lijkt het toch zinvol om te onderzoeken in hoever-

re hier mogelijkheden voor beïnvloeding liggen. De gemiddelde afgelegde afstand door bewoners van de Randstad is ongeveer 10 kilometer. Vijftig procent van alle verplaatsingen is korter dan 3,5 kilometer (Rietveld and Stam, 1992).

5.3 Maatschappelijke en technologische ontwikkelingen

De berekende groei van het verkeer in het onderzoek van Verroen e.a. (1995) heeft betrekking op de periode 2005-2015. Voor de milieubelasting zijn uiteraard ook de emissies na 2015 van belang. Het is moeilijk om de te verwachten verkeersemissies op lange termijn aan te geven. Wanneer de emissies tientallen jaren ongeveer gelijk blijven, zijn de milieueffecten als gevolg van de keuze voor een bepaalde verstedelijkingsvariant substantieel te noemen. De effecten op lange termijn zijn afhankelijk van maatschappelijke en technologische factoren. Hieronder wordt ingegaan op enkele van deze factoren, namelijk de afstandsgevoeligheid van de bevolking, ontwikkelingen op de arbeidsmarkt en de woningmarkt, de ruimtelijke ontwikkeling van de werkgelegenheid, de opkomst van telewerken en veranderingen in de vervoerstechnologie.

Afstandsgevoeligheid

De afstandsgevoeligheid van de bevolking is eerder omschreven als de mate waarin afstand een belemmerende factor vormt bij beslissingen omtrent het reisgedrag. Tijd, geld en fysieke moeite spelen hierbij een rol. Door stijging van inkomens, een lage energieprijs, ontwikkelingen in de vervoerstechnologie, verbetering van de capaciteit van infrastructuur en introductie van nieuwe vervoerssystemen zoals de hogesnelheidstrein zou de afstandsgevoeligheid in de toekomst verder kunnen afnemen (Gordijn, 1995). Het is mogelijk dat het bouwen in de nabijheid van bestaande steden in de toekomst steeds minder effectief is om verplaatsingsafstanden te beperken. Volgens Verroen e.a. (1995) is het zeer goed denkbaar dat bij een afnemende afstandsgevoeligheid op langere termijn de voordelen van een meerkernige oriëntatie, waarbij uitgegaan wordt van het bouwen tussen steden, zwaarder gaan wegen. Deze veronderstelling wordt echter niet nader toegelicht. Het is overigens ook denkbaar (maar minder waarschijnlijk) dat de afstandsgevoeligheid door overheidsmaatregelen, zoals verhoging van de brandstofkosten, toeneemt, wat het mobiliteitsbeperkende effect van korte afstanden tussen functies juist doet toenemen.

Ontwikkelingen op de arbeidsmarkt en de woningmarkt

In paragraaf 5.2 is gebleken dat verschillen tussen verstedelijkingsvarianten in het effect op het autoverkeer vooral verklaard worden door veranderingen in het woon-werkverkeer; andere vervoersmotieven, zoals sociaal en recreatief verkeer, zijn minder gevoelig voor de verstedelijkingsvorm. De mate waarin de overheid woon-werkafstanden van mensen kan beïnvloeden is afhankelijk van maatschappelijke ontwikkelingen. Behalve de hierboven genoemde afstandsgevoeligheid spelen processen op de arbeidsmarkt en de woningmarkt hierbij een belangrijke rol.

Door de specialisatie en segmentatie van de arbeidsmarkt wordt de kans dat mensen in de nabijheid van hun woning een baan vinden steeds kleiner (Gordijn, 1995). Ook de groeiende arbeidsparticipatie van vrouwen en de toename van parttime en tijdelijke dienstverbanden maken de onderlinge afstemming van wonen en werken steeds moeilijker. Doordat werknemers steeds vaker van werklocatie veranderen en steeds vaker op contractbasis

werken, zijn ze minder snel geneigd te verhuizen, hetgeen tot grotere woon-werkafstanden leidt (Smit en Musterd, 1995).

Ook ontwikkelingen op de woningmarkt hebben invloed op woon-werkafstanden. Volgens Gordijn (1995) is er ook op de woningmarkt sprake van toenemende segmentatie, die wordt veroorzaakt door de differentiatie in huishoudensvormen en in woonvoorkeuren. Hierdoor zou het belang van woon-werkafstanden bij de woonplaatskeuze verminderen. Door schaarste op de woningmarkt en de arbeidsmarkt wordt dit versterkt: mensen kiezen voor een vrijgekomen arbeidsplaats of woning en nemen de afstand op de koop toe (Gordijn, 1995). Veel mensen zijn bij een verhuizing op zoek naar extra ruimte en een tuin. In de Randstad kan aan deze behoefte slechts in geringe mate worden voldaan (Dieleman en Priemus, 1996). Wanneer onvoldoende rekening wordt gehouden met woonwensen zou dit er toe kunnen leiden dat mensen met hoge inkomens de Randstad verlaten. Wanneer deze mensen in de Randstad blijven werken, worden hierdoor woon-werkafstanden vergroot. Volgens Rietveld en Stam (1992) kunnen ook bij een gunstige verhouding tussen werkgelegenheid en bevolking in één plaats (de ontwerpdimensie "menging van functies") de forensenstromen nog aanzienlijk zijn, wanneer de kwaliteit van de woningen niet aansluit bij de vraag. Volgens Hooimeijer en Nijstad (1996) bestaat het gevaar dat bij voortzetting van het compacte stad-beleid een aanzienlijk vertrekoverschot van de Randstad ontstaat. In de Randstad is namelijk sprake van een structureel patroon van vestiging van jongeren en vertrek van ouderen. Mensen die op relatief jonge leeftijd in de Randstad een opleiding volgen en werk vinden, verlaten de Randstad wanneer ze ouder zijn en hoger op de sociale ladder terechtkomen. De slechte prijs-kwaliteit verhouding van de huisvesting zou hierbij een rol spelen (Hooimeijer en Nijstad, 1996).

De genoemde ontwikkelingen kunnen ertoe leiden dat ruimtelijke afstemming tussen wonen en werken steeds moeilijker is te realiseren. Volgens Louw (1991) leidt het verstedelijkingsbeleid niet tot vermindering van de mobiliteit van de hogere inkomensgroepen, voor wie een groot en stijgend aandeel van de woningvoorraad is bestemd. De segmentering van de arbeidsmarkt leidt juist voor deze groepen tot grote woon-werkafstanden. De ruimtelijke afstemming van wonen en werken wordt hierdoor ernstig belemmerd. Volgens Smit en Musterd (1995) is deze afstemming bijna per definitie problematisch omdat de dynamiek van woon-, werk- en huishoudenscarrières veel groter is dan de dynamiek die in de gebouwde omgeving kan worden gerealiseerd. Volgens hen kan het best worden gestreefd naar zo gevarieerd mogelijke ruimtelijke milieus, die voor verschillende huishoudentypen de mogelijkheid bieden om woon-werkafstanden te beperken. Vaak zijn mensen wel bereid om zich zo dicht mogelijk bij het werk te vestigen, maar zijn de keuzemogelijkheden beperkt (Smit en Musterd, 1995).

Het is denkbaar dat het in de toekomst steeds moeilijker wordt om door ruimtelijk beleid de mobiliteit te beïnvloeden. Dit zou worden versterkt door het feit dat er een relatieve toename is van verplaatsingen voor andere doelen als winkelen, onderwijs, cultuur, familiebezoek en recreatie (Ministerie van VROM, 1994). Deze categorieën worden minder sterk beïnvloed door de ruimtelijke structuur. Verwacht mag worden dat het aandeel van deze vervoersmotieven als gevolg van toenemende vergrijzing en toename van vrije tijd verder zal toenemen. Wellicht komen de sturingsmogelijkheden voor het beleid voor vermindering van woon-werkafstanden steeds meer te liggen bij andere factoren die de woonplaatskeuze van werkenden bepalen, zoals de prijs/kwaliteitverhouding en de aantrekkelijkheid van de woonomgeving.

Ruimtelijke ontwikkeling van de werkgelegenheid

Niet alleen de woonplaatskeuze van werkenden, maar ook de locatiekeuze van bedrijven en kantoren beïnvloedt woon-werkafstanden. De invloed van verstedelijkingsvarianten op het verkeer is daarom gevoelig voor de ruimtelijke ontwikkeling van de werkgelegenheid. Dit betekent dat de ontwerpdimensie "menging van functies" die een belangrijke invloed heeft op verkeersstromen, tegelijk het meest kwetsbaar is.

Hoewel VERDICHTING is genoemd als (meest) gunstig voor de beperking van het autoverkeer, zou dit kunnen veranderen wanneer een groot deel van de bedrijvigheid zich buiten de (centra van de) steden ontwikkelt. De toenemende congestie die bij een vergaande verdichting kan ontstaan, zou dit juist kunnen bevorderen. Op dit moment manifesteert de sterkste groei van de werkgelegenheid zich aan de oost- en zuidoostflank van de Randstad in de richting van Brabant en Gelderland. De omvang van deze verschuiving uit de Randstad wordt echter vaak overdreven (Dieleman en Priemus, 1996). Volgens Priemus (1996) is in veel bedrijfstakken sprake van deconcentratietendenzen; locaties buiten de stad worden steeds belangrijker. Voor grote kantoren zijn locaties in de grote steden echter nog wel aantrekkelijk, vanwege de concentratie van telematica-voorzieningen, de nabijheid van zakelijke diensten en de mogelijkheid van face-to-face contacten (Priemus, 1996). De deconcentratietendens zou een reden kunnen zijn om ook bij woningbouw althans voor een deel te kiezen voor suburbane locaties. Aan de andere kant zou bouwen in of nabij bestaande steden een gunstig effect kunnen hebben op het economisch draagvlak, waardoor bepaalde typen bedrijvigheid juist weer door de stad worden aangetrokken. Een eenduidig antwoord op de vraag welke verstedelijkingsrichting in dit verband het meest gewenst is, is moeilijk te geven. Van belang is de vraag in hoeverre te verwachten is dat op bepaalde locaties het werken het wonen volgt, voor welke bedrijfstakken dit wel en niet geldt en of de samenstelling van de beroepsbevolking op een nieuwe locatie aansluit bij de te verwachten bedrijvigheid.

Telewerken

De opkomst van telewerken kan betekenen dat mensen meer thuis gaan werken, waardoor toenemende woon-werkafstanden niet tot extra mobiliteit hoeven te leiden. Uit een studie van TNO uit 1989 blijkt dat door gebruik van telecommunicatie in het bedrijfsleven en bij huishoudens de te verwachten groei van het woon-werkverkeer sterk kan worden vermindert. Er moet wel rekening mee worden gehouden dat telewerken in de woning extra ruimte vereist (Louw, 1991). Andere auteurs wijzen echter op het feit dat telewerken er toe leidt dat de uitgespaarde tijd wordt besteed aan andere - recreatieve of huishoudelijke - verplaatsingen (Droogleever Fortuijn en Musterd, 1995; Dingemanse e.a., 1995). Wanneer mensen een deel van de week thuis werken, kan dit er bovendien toe leiden dat grotere woon-werkafstanden worden geaccepteerd, waardoor het mobiliteitsbeperkende effect wordt verminderd (Van Wee, pers. meded.). Een ander effect zou kunnen zijn dat de auto die voorheen vooral voor woon-werkverplaatsingen werd gebruikt, door andere leden van een huishouden juist vaker wordt gebruikt. Of telewerken de invloed van verstedelijkingsvarianten op verkeersemissies doet verminderen is dus onzeker.

Vervoerstechnologische ontwikkelingen

Ontwikkelingen in de vervoerstechnologie kunnen er toe leiden dat auto's schoner en energiezuiniger worden, waardoor het minder belangrijk zou worden om bij de locatiekeuze van verstedelijking rekening te houden met de mobiliteit. Volgens Heerema (in: Ministerie van VROM, 1995) leiden verbeteringen in de autotechnologie, samen met de toenemende

variatie in de vervoervraag, er toe dat de rol van het openbaar vervoer zal verminderen. Wellicht is aansluiting op haltes van openbaar vervoer daarom minder noodzakelijk. Hier kunnen verschillende argumenten tegen in gebracht worden. Ten eerste zijn ook in het openbaar vervoer technologische ontwikkelingen denkbaar die de milieubelasting kunnen beperken, waardoor het openbaar vervoer milieuvriendelijker blijft dan de auto. Ten tweede leidt vermindering van het brandstofverbruik er weliswaar toe dat sommige emissies per autokilometer verminderen, maar wanneer de kosten van autorijden hierdoor ook lager worden, zal het verkeer juist weer toenemen (Goodwin, 1992). Tenslotte kan door de groei van het aantal autokilometers het effect van technologische verbeteringen weer teniet gedaan worden (Dingemanse e.a., 1995). Het is denkbaar dat collectieve vervoersystemen juist aan belang toenemen door congestie op het wegennet, door stijging van brandstofprijzen door overheidsmaatregelen of schaarste aan energie (Van Wee, pers. meded.). Technologische ontwikkelingen kunnen ook leiden tot hogere snelheden, waardoor de afstandsgevoeligheid van de bevolking vermindert (zie hierboven). De invloed van nabijheid tot bestaande steden op de mobiliteit kan hierdoor kleiner worden. Er zijn dus verschillende technologische ontwikkelingen denkbaar, die de invloed van verstedelijkingsvarianten op verkeersemissies zowel kunnen doen toenemen als doen afnemen.

Uit het bovenstaande volgt dat verschillende maatschappelijke en technologische ontwikkelingen van invloed zijn op de wijze waarop verstedelijkingsvarianten de omvang van de automobilititeit beïnvloeden. De invloed van verstedelijkingsvarianten op verkeersemissies op lange termijn is daardoor onzeker.

Het is overigens van belang om te bedenken dat verstedelijkingsvarianten niet alleen invloed hebben op de milieu-effecten van het verkeer, maar ook op zaken als de kostendekkingsgraad van het openbaar vervoer, de verkeersveiligheid, reistijden en bereikbaarheid (Verroen e.a., 1995). Aansluiting op (betaalbaar) openbaar vervoer is ook vanuit sociale overwegingen gunstig. Volgens Van Wee (1995) ligt in studies naar de mobiliteitseffecten van verstedelijkingsvarianten vaak eenzijdig de nadruk op negatieve effecten. De "baten" van het verkeers- en vervoersysteem, in termen van reistijd en bereikbaarheid, komen onvoldoende aan bod. Het verdient daarom aanbeveling om goede indicatoren voor deze baten te ontwikkelen (Van Wee, 1995).

5.4 Geluidhinder, geurhinder en lokale luchtverontreiniging

Onder het thema verstoring worden geluidhinder, geurhinder, lokale luchtverontreiniging en externe veiligheid gerekend. Onder externe veiligheid wordt het sterfterisico voor omwonenden door ongevallen bij verwerking, opslag en transport van gevaarlijke stoffen verstaan (RIVM, 1993). Omdat er voor zover bekend geen onderzoek is gedaan is naar de invloed van verstedelijkingsvarianten op verstoring (Van Wee, pers. meded.) kan deze invloed niet exact worden aangegeven. Voor de drie eerstgenoemde aspecten is het wel mogelijk om de richting van de effecten globaal aan de hand van enkele dimensies te beredeneren. Externe veiligheid is in dit onderzoek in verband met het beperkte tijdsbestek buiten beschouwing gelaten. Verwacht mag worden dat het bouwen in de nabijheid van bepaalde industrieën, vliegvelden of transportroutes van gevaarlijke stoffen tot hogere risico's op ongevallen leidt. Geurhinder wordt overigens behalve door het verkeer ook door onder meer de industrie en de landbouw veroorzaakt (RIVM, 1993).

In tabel 5.8 is de verwachte invloed van enkele dimensies op verstoring weergegeven. Omdat de bijdrage van het treinverkeer aan verstoring relatief gering is (RIVM, 1993), is hier geen rekening mee gehouden.

	Geluidhinder	Lokale luchtverontreiniging/ geurhinder
Aansluiting OV	+	+
Nabijheid	?	-
Bundeling	?	-
Dichtheid	-	-

Tabel 5.8 Invloed van dimensies van verstedelijkingsvarianten op verstoring als gevolg van het autoverkeer (+ = relatief gunstig voor het milieu, - = relatief ongunstig voor het milieu, ? = effect onbekend)

Verondersteld kan worden dat een goede aansluiting op het openbaar vervoer minder verstoring oplevert, omdat hierdoor het totaal aantal autokilometers wordt beperkt. Een te grote nabijheid tot stations kan echter de geluidhinder door het treinverkeer doen toenemen. Nabijheid (bouwen aan de rand van bestaande steden) en bundeling (bouwen in grote eenheden) leiden tot hogere concentraties van lokale luchtverontreiniging. In grotere steden is de concentratie van luchtverontreinigende stoffen hoger dan in kleinere steden, omdat de stadsachtergrondconcentratie toeneemt met de omvang van het stedelijk gebied (Van Wee, pers. meded.). Met de achtergrondconcentratie wordt het gehalte aan stoffen bedoeld dat continu aanwezig is en door zowel lokale als regionale (of nationale/continentale) bronnen veroorzaakt kan worden. De achtergrondconcentratie in de stad neemt niet evenredig toe met de omvang van een stad, maar met een dalend percentage.

Het is niet te zeggen wat de invloed van nabijheid en bundeling op geluidhinder is. Waarschijnlijk is dit sterk afhankelijk van de lokale situatie. Van belang is bijvoorbeeld of er nieuwe infrastructuur wordt aangelegd en in hoeverre de verdeling van het verkeer over de infrastructuur verandert. Voor geluidhinder geldt dat het verkeer het beste zoveel mogelijk over bestaande infrastructuur zou moeten rijden, omdat geluid relatief weinig toeneemt wanneer het aantal passerende auto's groter wordt. Aanleg van nieuwe wegen leidt eerder tot verhoging van het aantal gehinderden. Om de blootstelling van mensen aan lokale luchtverontreiniging te beperken is het juist beter om het verkeer zoveel mogelijk over verschillende wegen te verdelen (Van Velze, pers. meded.).

Voor het effect van bouwen aan de rand van de stad zou het uit kunnen maken aan welke kant een nieuwe wijk wordt gebouwd, in verband met verplaatsing van emissies door de wind. Omdat de wind in Nederland overwegend uit het zuidwesten komt, zou een nieuwe wijk aan de noordoostkant relatief veel emissies uit de rest van de stad kunnen ontvangen. Omgekeerd kan aanleg van een wijk in het zuidwesten er toe leiden dat de emissies uit deze wijk in de bestaande stad terechtkomen (Van Velze, pers. meded.).

Bouwen in hoge dichtheden is ongunstig voor de milieu-effecten die onder het thema verstoring worden gerekend. Uit onderzoek van TNO (De Jong e.a., 1996b) blijkt dat er een duidelijk positief verband bestaat tussen de adresdichtheid enerzijds en lokale luchtverontreiniging (stikstofdioxide, benzeen en koolmonoxide), geurhinder en geluidhinder als gevolg van het wegverkeer anderzijds. Volgens Van Velze (pers. meded.) leidt verdichting binnen bestaande steden waarschijnlijk, ondanks de verminderde verplaatsingsafstanden, in het centrum van de stad tot hogere concentraties van luchtverontreinigende stoffen dan het bouwen van een wijk aan de rand van de stad of erbuiten. Het is echter mogelijk dat door lokale omstandigheden het verschil niet groot is of dat verdichting in sommige gevallen zelfs gunstiger is dan bouwen aan de rand. Hierbij kan gedacht worden aan een nieuwe wijk die aan de rand van de stad in de buurt van een snelweg wordt aangelegd (Van Velze, pers. meded.).

Wanneer de dimensies van tabel 5.8 worden toegepast op de VERSRING-concepten, blijkt dat de variant DIFFUUS, waarin relatief ver van de bestaande steden, in kleine eenheden en lage dichtheden wordt gebouwd, leidt tot de minste verstoring als gevolg van het verkeer. Hoewel het totale aantal autokilometers in deze variant het hoogst is, wordt de luchtverontreiniging over een groot gebied verspreid, waardoor lokale concentraties relatief gering zijn (Van Velze, pers. meded.). Het concept DIFFUUS kan wel tot meer schade aan ecosystemen leiden, omdat er meer (verzurende) emissies op wat grotere afstand van de stad neerslaan. De situatie op lokaal niveau is dan dus in conflict met die op hogere schaalniveaus. De gespreide verstedelijking conform DIFFUUS lijkt echter vooral nadelig voor ecosystemen vanwege de optredende versnippering (zie paragraaf 5.5).

Verondersteld is dat de variant VERDICHTING tot de meeste geluidhinder, geurhinder en lokale luchtverontreiniging leidt, vanwege het algemene verband tussen dichtheid en verstoring. Verdichting kan bovendien de congestie en daarmee de uitstoot van emissies doen toenemen in verband met lagere rijsnelheden. Voor de meeste stoffen geldt namelijk dat de uitstoot toeneemt bij lagere snelheden. NO_x en CO_2 vormen hierop een uitzondering (Van Velze, pers. meded.). Zoals vermeld kan het effect van verdichting in vergelijking met bouwen aan de rand van de stad in concrete situaties echter anders uitwerken.

Verwacht mag worden dat in het concept INFRA de concentraties van luchtverontreinigende stoffen geringer zijn dan in RING en SCHUIF, omdat de bebouwing door de lintvormige structuur meer gespreid is. Omdat in RING en SCHUIF meer tegen bestaande steden wordt gebouwd zullen de achtergrondconcentraties in de stad in deze concepten over het algemeen toenemen.

De absolute verschillen tussen de varianten zijn niet aan te geven, omdat lokale omstandigheden, zoals ligging van snelwegen, parkeerbeleid en autovrije zones, een belangrijke rol spelen. Voor *overschrijdingen* van grenswaarden zijn lokale omstandigheden vaak van groot belang. Bij voorspellingen voor de langere termijn moet bovendien rekening worden gehouden met technologische verbeteringen en eventuele verandering van het rijgedrag van de bevolking. Omdat veel gegevens nodig zijn lijkt het niet eenvoudig om de invloed van verstedelijkingsvarianten op verstoring te onderzoeken (Van Velze, pers. meded.).

In tabel 5.9 is de invloed van verstedelijkingsvarianten op verstoring als gevolg van het wegverkeer samengevat. Verondersteld is dat geurhinder toeneemt naarmate de concentraties van luchtverontreiniging hoger zijn. In werkelijkheid is het verband tussen lokale luchtverontreiniging en het aantal mensen dat geurhinder ervaart wellicht niet zo duidelijk.

	RING	SCHUIF	INFRA	DIFFUUS	VERDICHTING
Lokale luchtverontreiniging/geurhinder	+/-	+/-	+	++	-
Geluidhinder	+/-	+/-	+/-	+	-

Tabel 5.9 Invloed van verstedelijkingsvarianten op verstoring als gevolg van het verkeer (+ = relatief gunstig voor het milieu, - = relatief ongunstig voor het milieu)

5.5 Versnippering van leefgebieden van fauna

De effecten van verstedelijkingsvarianten op natuurwaarden als gevolg van versnippering van leefgebieden van fauna zijn in beeld gebracht door het Staring Centrum en Bureau Vista ("Verstedelijking en natuur in Centraal Nederland", Harms e.a., 1995). Hoewel deze studie geen betrekking heeft op de invloed van verkeersstromen, worden de uitkomsten toch in dit hoofdstuk behandeld, omdat aan de hand hiervan een relatie met verkeersstromen kan worden gelegd.

Door Harms e.a. (1995) is onderzocht welke knelpunten en kansen ontstaan voor de realisatie van de Ecologische Hoofdstructuur (EHS) onder invloed van verstedelijkingsvarianten. In dit onderzoek is uitgegaan van de vier VERSRING-concepten. Om de effecten van versnippering te berekenen zijn dertien "versnipperingsgevoelige" diersoorten geselecteerd, waarbij als criteria onder meer zijn gehanteerd kenmerkendheid voor uiteenlopende landschappen, beleidsrelevantie en een zekere geografische spreiding. Als ecologische beoordelingscriteria zijn habitatkwaliteit, populatiegrootte en bereikbaarheid van potentiële leefgebieden gekozen.

In tabel 5.10 is onder de categorie "ecologische schade" weergegeven welk deel van het oppervlak aan verstedelijking leidt tot afname van habitat voor de modelsoorten. Bij het concept DIFFUUS is de "ecologische schade" het grootst; circa 38 procent van het oppervlak van de nieuwe woningbouwlocaties leidt hier tot afname van habitat. Onder "habitatverlies" is de procentuele afname van het areaal habitat aangegeven. Bij het concept DIFFUUS blijkt gemiddeld circa 4 procent van het areaal habitat af te nemen. Dit lijkt gering, maar is in oppervlakte uitgedrukt aanzienlijk, namelijk 7.500 hectare. Bij de overige concepten ligt dit ongeveer op de helft.

	RING	SCHUIF	INFRA	DIFFUUS
Ecologische schade	-18,3	-18,5	-19,8	-37,5
Habitatverlies	-1,9	-1,9	-2,2	-4,3

Tabel 5.10 Effecten van VERSRING-concepten op de habitatkwaliteit (ecologische schade = percentage van het oppervlak aan verstedelijking dat leidt tot afname van habitat, habitatverlies = procentuele afname van het totale habitat-areaal van de modelsoorten) (bron: Harms e.a., 1995)

De spreiding tussen de diersoorten is overigens groot. Het grote verlies aan habitatkwaliteit en populatiegrootte bij het model DIFFUUS hangt samen met de grote randlengte aan nieuwe bebouwing en de aanwezigheid van storingszones van één kilometer rond stedelijk gebied. De concepten RING en INFRA leveren door de barrièrevorming en compartimentering problemen op voor de bereikbaarheid van leefgebieden.

Per verstedelijkingsconcept is tevens gekeken naar de mogelijkheden om deze effecten door middel van natuurontwikkeling (25.000 hectare nieuwe natuur) te compenseren. Voor ieder VERSRING-concept is een ontwerp gemaakt, waarbij de kansen voor natuurontwikkeling optimaal worden benut. In tabel 5.11 zijn per variant de ecologische schade en het habitatverlies weergegeven, wanneer de invloed van compenserende natuurontwikkeling wordt meegerekend.

In tabel 5.12 zijn de effecten (inclusief compensatie) uitgesplitst naar populaties. De effecten zijn vergeleken met de populaties die ontstaan bij realisering van de EHS. Uit tabel 5.11 en 5.12 blijkt dat de negatieve effecten van het concept DIFFUUS onvoldoende kunnen worden gecompenseerd door natuurontwikkeling, omdat er te weinig ruimte overblijft voor leefgebieden van voldoende omvang of omdat de natuur op ongunstige locaties terecht komt. Bij de overige concepten is er wel sprake van compensatie, hoewel de effecten tussen de soorten aanzienlijk kunnen verschillen. Bij de concepten RING en SCHUIF is zelfs sprake van overcompensatie. Geconcludeerd kan worden dat compacte verstedelijking de voorkeur verdient boven diffuse of lineaire vormen van verstedelijking (Harms e.a., 1995). Bedacht moet overigens worden dat compensatie een subjectief begrip is; het is bijvoorbeeld de vraag in hoeverre afname van een soort gecompenseerd kan worden door toename van een andere soort. Bovendien kan het lang duren voordat zich nieuwe natuur met een gewenste kwaliteit ontwikkelt.

	RING	SCHUIF	INFRA	DIFFUUS
Ecologische schade/winst	+14,8	+11,0	+1,4	-12,7
Toe- of afname habitat	+3,5	+2,2	+0,3	-3,1

Tabel 5.11 Effecten van VERSRING-concepten op de habitatkwaliteit na compenserende natuurontwikkeling (ecologische schade = percentage van het oppervlak aan verstedelijking dat leidt tot afname van habitat, habitatverlies = procentuele afname van het totale habitat-areaal van de modelsoorten) (bron: Harms e.a., 1995)

In de studie van Harms e.a. (1995) zijn de effecten van verkeersstromen (via de infrastructuur) op versnippering en verstoring van fauna niet meegenomen, maar is enkel gekeken naar de effecten van de verstedelijkingslocaties zelf. De tabellen 5.10, 5.11 en 5.12 zeggen dan ook niets over effecten van het verkeer. Toch zijn er redenen om ook de invloed van het verkeer in beschouwing te nemen.

Ten eerste kan de noodzaak voor aanleg van extra infrastructuur tussen de verstedelijkingsvarianten verschillen. In het concept DIFFUUS moeten extra wegen aangelegd worden om de nieuwe nederzettingen te ontsluiten. In de overige varianten kunnen de bewoners van de

nieuwbouwlocaties (meer) gebruik maken van bestaande infrastructuur. De versnipperende werking van een sterk gespreide verstedelijking wordt daarom versterkt door de aanleg van de noodzakelijke extra infrastructuur. Door De Jong e.a. (1996a) is een methodiek ontwikkeld waarmee voor elke verstedelijkingsvariant het te verwachten type infrastructuur en de ligging ervan kan worden aangegeven.

Ten tweede heeft de keuze voor een verstedelijkingsvariant (met name de keus tussen één- of meerkernig georiënteerde locaties) effect op de verdeling van het autoverkeer over het snelwegennet (Verroen e.a., 1995). Dit kan effecten hebben op de verstoring van fauna; wanneer bijvoorbeeld op wegen door natuurgebieden sprake is van een sterke toename, treden hier grotere risico's voor de fauna op. De omvang van dit effect is niet duidelijk.

	RING	SCHUIF	INFRA	DIFFUUS
Aalscholver	8,3	1,8	5,2	1,6
Bruine kiekendief	11,3	3,7	0,3	-4,1
Bever	18,3	10,4	4,7	-9,2
Otter	5,8	-2,3	1,1	-7,9
Groene specht	0,6	6,6	3,2	4,6
Havik	5,0	4,0	7,2	4,5
Boommarter	4,1	3,5	0,7	-4,4
Edelhert	6,5	7,4	0,6	-4,8
Grutto	-8,9	-3,4	-9,6	-5,5
Kolgans	-5,7	-4,3	-6,3	-8,3
Das	-0,5	-2,6	-2,2	-4,8
Bunzing	-0,7	3,2	-2,0	-2,2
Vos	0,1	1,0	1,2	0,8

Tabel 5.12 Effecten van verstedelijkingsvarianten op populaties, inclusief compenserende natuurontwikkeling (voor- of achteruitgang in procenten t.o.v. EHS-populatie) (bron: Harms e.a., 1995)

Verstedelijking heeft niet alleen effecten op fauna, maar ook op flora. Volgens De Jong e.a. (1996a) zou de aandacht in de Randstad juist in eerste instantie op de botanische diversiteit gericht moeten worden, omdat planten de basis van de voedselpiramide vormen en zodoende de voorwaarden creëren voor een rijkgeschakeerde natuur. Ook zou aandacht geschonken moeten worden aan de zeldzaamheid van planten, waarbij rekening gehouden moet worden met het feit dat zeldzaamheid afhankelijk is van het gekozen schaalniveau (De Jong e.a., 1996a). Verstedelijking kan leiden tot het verdwijnen van planten op plaat-

sen waar gebouwd wordt of waar stedelingen recreëren. Verstedelijking heeft echter ook *positieve* effecten; volgens De Jong e.a. (1996a) is gebleken dat de botanische diversiteit per km² in Amsterdam en Zoetermeer tot vijf maal hoger is dan in de agrarische omgeving van deze steden. In Amsterdam kan de helft (800 soorten) van de totale Nederlandse wilde flora worden gevonden. De positieve effecten van verstedelijking op biodiversiteit worden ten onrechte vaak niet meegerekend. Onderzoek naar de stedenbouwkundige omstandigheden waaronder deze ecotopen ontstaan is gewenst (De Jong e.a., 1996a).

De versnippering van het landschap als gevolg van verstedelijking en infrastructuur heeft niet alleen effecten op flora en fauna. In een studie van de Raad voor het Milieu- en Natuuronderzoek (1990) worden naast ecologische ook historisch-geografische, hydrologische, sociaal-ruimtelijke, omgevingspsychologische en landschapsarchitectonische aspecten van versnippering onderscheiden. Versnippering kan worden omschreven als het proces waarbij areaalverkleining en doorsnijding van biotopen en landschappen optreedt en waarbij de functies van het landschap voor mensen, dieren en planten worden veranderd. Behalve verstedelijking en aanleg van infrastructuur kunnen bijvoorbeeld ook bebossing en ruilverkaveling tot versnippering leiden. Omdat de gewenste functie van arealen afhankelijk is van maatschappelijke doelstellingen, kan versnippering zelfs ontstaan wanneer geen ingrepen in het landschap plaatsvinden, maar slechts doelstellingen worden veranderd. Van belang is verder dat versnippering voor de ene functie gepaard kan gaan met het leggen van verbindingen voor een andere functie (RMNO, 1990).

Bij historisch-geografische aspecten van versnippering kan gedacht worden aan vermindering van de herkenbaarheid van de oorspronkelijke bebouwings- of nederzettingsstructuur of het patroon van wegen, dijken en waterlopen. Om historische nederzettingsstructuren te behouden zou verstedelijking moeten plaatsvinden in of bij bestaande kernen; open gebieden zouden gevrijwaard moeten blijven van bebouwing (Barends, in: RMNO, 1990). Ook de emotionele beleving van een landschap (waarbij met name omgevingspsychologische en landschapsarchitectonische aspecten van belang zijn) kan door versnippering of verstedelijking negatief worden beïnvloed. Versnippering kan er toe leiden dat landschappen steeds meer op elkaar gaan lijken, waardoor de eigenheid van een landschap voor de bewoners verdwijnt. Door visuele barrières kan de oriëntatie worden bemoeilijkt (Schöne en Strootman, in: RMNO, 1990; Coeterier, in: RMNO, 1990). In de Randstad leidt de barrièrewerking van infrastructuur tot verminderde toegankelijkheid van het landelijk gebied (Lan-geweg en Schreuder, 1996). In tabel 5.13 is de invloed van verstedelijkingsvarianten op versnippering samengevat.

	RING	SCHUIF	INFRA	DIFFUUS	VERDICHTING
Habitatkwaliteit (zonder compensatie)	-	-	-	--	+/-
Habitatkwaliteit (met compensatie)	+/-	+	+	-	+
Biodiversiteit in de stad	+	+	+	+	-

Tabel 5.13 Invloed van verstedelijkingsvarianten op de habitatkwaliteit door versnippering
(+ = relatief gunstig, - = relatief ongunstig)

De eerder genoemde indicatoren ecologische schade/winst en toe- of afname habitat zijn samengevat onder de term habitatkwaliteit. Verondersteld is dat het concept VERDICHTING tot de minste versnippering op het schaalniveau van de Stedenring Centraal Nederland leidt. Voor biodiversiteit in de stad is verdichting echter minder gunstig. Omdat de andere varianten tot lagere bebouwingsdichtheden leiden, is er in deze varianten meer ruimte voor stedelijke ecosystemen. Omdat de ontwikkelingsmogelijkheden voor ecosystemen in de stad wellicht per gebied verschillen en de gemiddelde bebouwingsdichtheid hiervoor waarschijnlijk niet de enige relevante factor is kunnen de verschillen tussen RING, SCHUIF, INFRA en DIFFUUS niet exact worden aangegeven.

5.6 Bruikbaarheid van het analysekader

In dit hoofdstuk is gebleken dat verkeersstromen die de stad in- en uitgaan een belangrijke rol spelen bij de milieu-effecten van verstedelijkingsvarianten. De stromenbenadering lijkt dan ook voor verkeersstromen bruikbaar te zijn. De invloed van verstedelijkingsvarianten verschilt wel per milieu-effect. Zo is spreiding van verstedelijking ongunstig voor de bijdrage van het verkeer aan verandering van klimaat, verzuring en versnippering, maar gunstig voor het beperken van verstoring.

In hoofdstuk 1 en 2 is gesteld dat één van de normatieve uitgangspunten in het denken over "stromenbeheer" in de ruimtelijke planning is dat kringlopen van stromen zoveel mogelijk binnen een gebied gesloten moeten worden. Dit kringloopprincipe lijkt niet bijzonder bruikbaar in relatie tot verkeersstromen. Vanwege het diffuse karakter van verkeersstromen (kris-krasrelaties) is het niet mogelijk om een gebied af te bakenen waarbinnen al het verkeer zich zou moeten bewegen. Wel kan er bijvoorbeeld naar gestreefd worden om een bepaald percentage (bijvoorbeeld 80 procent) van het verkeer binnen een stadsgewest te laten plaatsvinden door te zorgen voor een evenwichtige verhouding tussen wonen, werken en voorzieningen. Wellicht kan de "recreatiekringloop" binnen de Randstad worden gesloten door in het Groene Hart voldoende recreatieve voorzieningen te creëren of kan de kringloop van verkeer gericht op uitgaansgelegenheden binnen een stad worden gesloten door bundeling van verstedelijking. Toch is het vanuit milieu-oogpunt niet in de eerste plaats van belang of het verkeer zich binnen of buiten een gebied beweegt, maar - met name bij verzuring en verandering van klimaat - wat het totale aantal afgelegde kilometers is (vermenigvuldigd met de emissie per kilometer). Bovendien lijkt het begrip kringloop beter geschikt in de zin van hergebruik van stoffen, omdat daarbij sprake is van circulatie van een vaste hoeveelheid materie; op verkeer is dit niet van toepassing. Het sluiten van kringlopen is geen geschikt principe om te bepalen welke verstedelijkingsvariant het meest duurzaam is.

5.7 Conclusie

Verstedelijkingsvarianten hebben een substantiële invloed op verkeersstromen. Voor wat betreft de effecten van het verkeer op verandering van klimaat en verzuring is vooral het totaal aantal afgelegde autokilometers van belang. Het maximale verschil tussen verstedelijkingsvarianten (VERDICHTING en DIFFUUS) in de groei van het totale aantal autokilometers in de periode 2005-2015 ligt in de orde van grootte van enkele procenten. Wanneer bedacht wordt dat dit betrekking heeft op een periode van slechts tien jaar en is gerelateerd

aan het totale autoverkeer (en niet de *toename*) zijn de verschillen groot te noemen. Omdat de effecten bovendien langdurig van aard kunnen zijn, is het vanuit milieu-oogpunt van belang om bij de locatiekeuze van verstedelijking rekening te houden met effecten op de mobiliteit. De groei van de automobilititeit kan worden beperkt door te bouwen in de nabijheid van bestaande steden en haltes van openbaar vervoer, door een goede menging van functies en hoge bebouwingsdichtheden. Omdat er in de Randstad na 2005 nog maar een beperkt aanbod aan gunstig gelegen eenkernig georiënteerde locaties is, zal hier na 2005 het bouwen van nieuwe, meerkernig georiënteerde steden langs de assen tussen de stadsgebieden leiden tot de geringste groei van verkeersstromen. In Brabant en Gelderland daarentegen leidt voortzetting van het compacte stad-beleid tot de meest gunstige mobiliteitseffecten.

Van de varianten die in dit onderzoek als uitgangspunt zijn genomen leidt de variant VERDICHTING waarschijnlijk tot de grootste beperking van het autogebruik. De variant DIFFUUS leidt tot de hoogste groei van het autoverkeer door de sterke spreiding van verstedelijking, de grotere afstand tot bestaande steden en minder goede mogelijkheden voor het openbaar vervoer. De extra groei van het verkeer in deze variant lijkt niet te kunnen worden gecompenseerd door planning van recreatieve voorzieningen nabij de woonlocaties.

Verskillende factoren zijn van invloed op de wijze waarop verstedelijkingsvarianten de omvang en emissies van het verkeer beïnvloeden. Er is sprake van een complexe wisselwerking tussen ruimtelijke ordening, maatschappelijke en technologische dynamiek en mobiliteit. Over de effecten van verstedelijkingsvarianten op lange termijn en de gevoeligheid van uitkomsten van modelstudies voor maatschappelijke en technologische veranderingen bestaan veel onzekerheden. Afname van de afstandsgevoeligheid van de bevolking door inkomensstijging en snellere vervoermiddelen, segmentatieprocessen op de arbeidsmarkt en de woningmarkt, de opkomst van telewerken, het schoner worden van auto's en vermindering van het aandeel woon-werkverkeer kunnen er toe leiden dat de invloed van verstedelijkingsvarianten op verkeersemissies afneemt. Een gespreide verstedelijking volgens het model DIFFUUS zou op termijn minder ongunstig kunnen worden. Aan de andere kant kunnen een mogelijke toekomstige schaarste aan energie, verhoging van de kosten van autorijden ten opzichte van het openbaar vervoer en technologische verbeteringen in het openbaar vervoer er toe leiden dat de verschillen tussen verstedelijkingsvarianten wat betreft de milieubelasting van het verkeer juist toenemen. De flexibiliteit die de ruimtelijke structuur biedt voor verschillende denkbare ontwikkelingen is van groot belang. Vanuit het oogpunt van flexibiliteit zou een sterk gespreide verstedelijking moeten worden vermeden en is aansluiting op openbaar vervoer cq. het creëren van de ruimtelijke mogelijkheden voor (collectieve) milieuvriendelijke en energiezuinige vervoerssystemen gewenst. Daarnaast zou de kwaliteit van de woningen en de woonomgeving de robuustheid van de verstedelijkingsvorm wel eens in belangrijke mate kunnen beïnvloeden, vanwege de invloed hiervan op de woonlocatiekeuze van werkenden.

De invloed van verstedelijkingsvarianten op geluidhinder, geurhinder en lokale luchtverontreiniging (verstoring) is slechts indicatief aan te geven. Verwacht mag worden dat het bouwen in kleine eenheden en lage dichtheden tot minder lokale luchtverontreiniging leidt dan bundeling van verstedelijking en hoge bebouwingsdichtheden. Hoge bebouwingsdichtheden zijn ook ongunstig voor geluidhinder en geurhinder als gevolg van het wegverkeer. De variant VERDICHTING brengt de meeste verstoring met zich mee, de variant DIFFUUS de minste. Vanwege lokale omstandigheden hoeft verdichting binnen bestaande steden echter niet altijd veel ongunstiger te zijn dan bouwen aan de rand van de stad.

Voor wat betreft de invloed van verstedelijkingsvarianten op versnippering van leefgebieden van fauna is niet alleen het verkeer van belang, maar ook de situering van de verstedelijkingslocaties zelf. Gespreide verstedelijking (concept DIFFUUS) leidt tot de grootste versnippering van leefgebieden, wat versterkt wordt door de noodzakelijke extra infrastructuur. Ook lintvormige structuren (RING en INFRA) kunnen ongunstig zijn, met name vanwege de verminderde bereikbaarheid van leefgebieden. Compacte verstedelijking op het schaalniveau van de Stedenring Centraal Nederland verdient vanuit het oogpunt van een zo gering mogelijke versnippering de voorkeur. Op lagere schaalniveaus kan een te grote concentratie van bebouwing juist ten koste gaan van ecologische verbindingen. Omdat bovendien binnen de stad vaak een aanzienlijke botanische diversiteit kan worden aangetroffen kan het bouwen buiten bestaande steden op dit punt soms gunstiger zijn dan verdichting. De versnippering van het landschap als gevolg van verstedelijking en infrastructuur heeft niet alleen effecten op flora en fauna, maar ook op historische structuren, belevingsaspecten en de gebruikswaarde voor functies als landbouw en recreatie. De in hoofdstuk 1 en 2 behandelde stromenbenadering biedt voor wat betreft verkeersstromen aanknopingspunten voor de analyse, omdat verkeersstromen die de stad in- en uitgaan worden beïnvloed door verstedelijkingsvarianten. Het sluiten van kringlopen is echter niet erg bruikbaar om te bepalen welke verstedelijkingsvariant het meest duurzaam is.

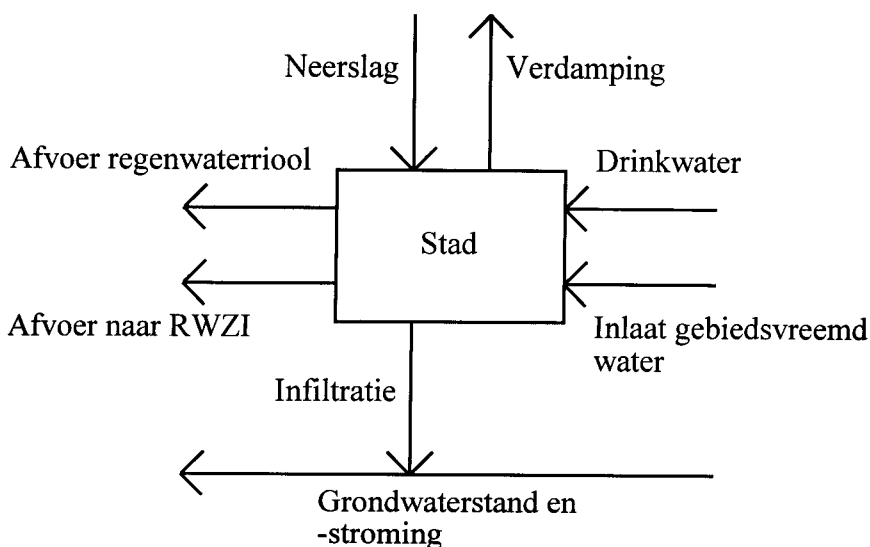
6. VERSTEDELIJKINGSVARIANTEN EN WATER

6.1 Inleiding

In dit hoofdstuk staat de vraag centraal in hoeverre het mogelijk is om milieu-effecten van verstedelijkingsvarianten te analyseren aan de hand van "waterstromen" die de stad in- en uitgaan. Onder waterstromen wordt in dit verband oppervlaktewater, grondwater, regenwater en drinkwater verstaan. De relevante milieuthema's (verdroging, vermessing en verspreiding) worden niet in afzonderlijke paragrafen behandeld, omdat deze sterk met elkaar samenhangen. In paragraaf 6.2 wordt beschreven hoe verstedelijking de waterhuishouding kan beïnvloeden. Hierbij worden zes ingrepen onderscheiden, te weten het bouwrijp maken van de grond, ontwatering, vergroting van het areaal verhard oppervlak, verontreiniging van het grondwater, drinkwaterwinning en lozing van afvalwater. In paragraaf 6.3 wordt besproken in hoeverre de vier eerstgenoemde ingrepen van belang kunnen zijn voor de analyse van milieu-effecten van verstedelijkingsvarianten, waarbij een onderscheid wordt gemaakt in verschillende landschapstypen. Paragraaf 6.4 gaat in op drinkwaterwinning en lozing van afvalwater. In paragraaf 6.5 komt de bruikbaarheid van de stromenbenadering aan de orde.

6.2 Invloed van verstedelijking op de waterhuishouding

Verstedelijking kan op verschillende manieren de waterhuishouding beïnvloeden. Dit kan worden geïllustreerd aan de hand van de zogenaamde waterbalans van het stedelijk gebied. De waterbalans is het geheel van waterstromen die een gebied in- en uitgaan. In figuur 6.1 is de waterbalans van een stad schematisch weergegeven.



Figuur 6.1 Waterbalans van een stad (bron: naar Broodbakker e.a., 1995 en Van Bakel e.a., 1995)

De waterbalans van een stad verschilt met die in onbebouwd gebied. Verstedelijking betekent dan ook dat verschillende balansposten worden veranderd ten opzichte van de oorspronkelijke situatie, wat tot negatieve milieu-effecten kan leiden. Deze beïnvloeding hangt samen met de volgende ingrepen.

Bouwrijp maken

Alvorens een terrein gebruikt kan worden voor verstedelijking dient het voor bebouwing en bewoning geschikt gemaakt te worden, het zogenaamde bouwrijp maken. Bij de conventionele manier van bouwrijp maken worden terreinen met slappe kleigronden en veengronden in hun geheel opgehoogd met een laag goed doorlatend zand van één à twee meter hoog. Door deze zogeheten integrale ophoging wordt de draagkracht van de bodem voor bebouwing verbeterd en wordt het verschil tussen het maaiveld en de grondwaterstand vergroot. Dit laatste is noodzakelijk om grondwateroverlast te voorkomen. Door integrale ophoging kan daling van de ondergrond optreden, ook wel zetting genoemd. Wanneer als gevolg daarvan ook de grondwaterstand moet worden verlaagd kan dit bijdragen aan verdroging. Ongelijke bodemdaling kan bovendien leiden tot schade aan leidingen en lekkende riolen (Broodbakker e.a., 1995; Van Bakel e.a., 1995).

Om bodemdaling te voorkomen, kan gebruik gemaakt worden van een zogenaamde zettingsvrije methode van bouwrijp maken. Hierbij wordt het terrein niet opgehoogd, maar wordt alleen daar waar verharding noodzakelijk is (bijvoorbeeld onder wegen en parkeerplaatsen) een deel van de bodem uitgegraven en vervangen door een combinatie van lichte materialen en zand. Hierbij wordt er voor gezorgd dat het materiaal niet zwaarder is dan het gewicht van de weggegraven grond (Broodbakker e.a., 1995).

Ontwatering

Om een gebied geschikt te maken en te houden voor verstedelijking is het vaak noodzakelijk om door middel van een drainagesysteem de grondwaterstand te verlagen. Hierdoor kan het te bebouwen terrein begaanbaar worden gehouden en kan grondwateroverlast worden voorkomen. Een (te) diepe ontwatering kan leiden tot verdroging. Om dit tegen te gaan moet in droge perioden vaak verontreinigd gebiedsvreemd water worden ingelaten (Van Bakel e.a., 1995). In veengebieden leidt ontwatering tot oxidatie van het veen en het vrijkomen van vermestende stoffen (zie paragraaf 6.3). Voor de gewenste grondwaterstand zijn kruipruimten onder woningen vaak maatgevend. Woningen in Nederland worden vrijwel altijd van een kruipruimte voorzien, waarvan de onderkant minstens 60 tot 80 centimeter onder het vloerpeil ligt (Van Bakel e.a., 1995). Kruipruimten zijn bedoeld om een geventileerde luchtlaag te creëren, waardoor uit de bodem opstijgend vocht niet de woningen intrekt. In plaats van een kruipruimte kan echter ook gebruik worden gemaakt van gasdichte folie in combinatie met een fundament van dicht beton (Zuurdeeg, pers. meded.). Omdat hiervoor een minder grote ontwateringsdiepte vereist is, kan verlaging van de grondwaterstand worden vermeden door te bouwen zonder kruipruimtes (Broodbakker e.a., 1995).

Vergroting van het areaal verhard oppervlak

Verstedelijking leidt er toe dat het areaal verhard oppervlak (wegen, daken) in het desbetreffende gebied toeneemt tot ongeveer 40 procent. Het meeste regenwater dat op verharde oppervlakken terechtkomt, wordt via een rioolstelsel naar een rioolwaterzuiveringsinstallatie (RWZI) of naar het oppervlaktewater afgevoerd en kan niet meer in de bodem infiltreren. Daarnaast wordt door verharding de verdamping van water uit de grond gehinderd,

waardoor de hoeveelheid water in de bodem juist weer toeneemt. Wanneer onvoldoende maatregelen worden getroffen, is het netto resultaat van verminderde infiltratie en verdamping dat de aanvulling van het grondwater afneemt. Hierdoor kan in het omliggende gebied verdroging ontstaan (Van Bakel e.a., 1995). Er bestaan verschillende methoden om de verminderde infiltratie van regenwater tegen te gaan. Hierbij kan gedacht worden aan het gebruik van doorlatende verhardingsmaterialen, beperking van het oppervlak voor infrastructuur of opvang van regenwater in bassins, putten of sleuven. Door deze maatregelen kan verdroging worden voorkomen (Broodbakker e.a., 1995; Deelstra, 1994b; Van Bakel e.a., 1995). Een nadeel van infiltratie van water in stedelijk gebied kan echter zijn dat het grondwater verontreinigd wordt. Daarom komt alleen het relatief schone regenwater van daken, rustige wegen en parkeerterreinen in woonwijken in aanmerking voor infiltratie (Van de Ven, 1991). Ook wanneer alleen dit schonere regenwater wordt geïnfilteerd kan verdroging worden voorkomen (De Smit, pers. meded.). Volgens Van de Ven (1991) kan de aanvulling van het grondwater in stedelijk gebied zelfs groter zijn dan in een onbebouwde situatie, wanneer het effect van de verminderde verdamping gaat overheersen.

Verontreiniging van het grondwater

Regenwater dat in stedelijk gebied de bodem intrekt, kan verontreinigingen met zich meeveren, waardoor de kwaliteit van het grondwater wordt aangetast. Hierbij kan gedacht worden aan bestrijdingsmiddelen die voor onkruidbestrijding worden gebruikt, percolatie onder afvalstortplaatsen en lekkende rioolstelsels (Bueno de Mesquita e.a., 1994). Het regenwater voert daarnaast op het oppervlak aanwezige verontreinigingen mee, met name organische microverontreinigingen, lood en koper (Van Bakel e.a., 1995). Door de aanwezigheid van verzurende stoffen in regenwater kunnen zware metalen die in constructiematerialen aanwezig zijn, oplossen. De kwaliteit van het regenwater dat afkomstig is van daken kan worden verbeterd door het toepassen van andere typen dakbedekking (geen olie- en teerhoudende producten) en van ander materiaal voor dakgoten, regenwaterpijpen en afvoeren (keramisch materiaal of kunststof in plaats van zink, lood en andere metalen). Verder kunnen op parkeerplaatsen en in straten oliefilters worden aangebracht om oliederivaten uit het water te verwijderen (Broodbakker e.a., 1995). Volgens Van de Ven (1991) bestaat onduidelijkheid over de omvang van de verontreiniging van het grondwater door stedelijke activiteiten, maar wordt deze vaak onderschat. Deze verontreiniging kan nooit geheel door technische maatregelen worden voorkomen. Hierbij moet ook gedacht worden aan calamiteiten als omvallende tankauto's, brand en dergelijke (Van de Ven, pers. meded.; Zuurdeeg, pers. meded.).

In tabel 6.1 is voor een aantal stoffen de omvang van de door het regenwater meegevoerde verontreiniging afkomstig van een wijk in Lelystad met een verhard oppervlak van 53 procent weergegeven. Hierbij is een onderscheid gemaakt tussen het deel dat via het riool de wijk verlaat (en in het oppervlaktewater terechtkomt) en het deel dat naar het grondwater infiltreert.

Omdat het een grove schatting betreft en onduidelijk is hoe de resultaten zijn verkregen, kunnen aan de tabel geen vergaande conclusies worden verbonden. In de tabel wordt verontreiniging van de bodem ten onrechte gelijkgesteld met verontreiniging van het grondwater. Een deel van de verontreiniging die in de bodem terecht komt bereikt het grondwater namelijk niet. Met name voor koper, lood en benzo(a)pyreen geldt dat de hoeveelheid verontreiniging die uiteindelijk in het grondwater terecht komt vanwege omzettings- en vastleggingsreacties in de bodem lager is dan in de tabel wordt gesugge-

reerd (Van der Linden, pers. meded.). Uit het voorgaande volgt dat over de omvang en effecten van verontreiniging van het grondwater door verstedelijking onzekerheid bestaat.

	Naar het regenwaterriool	Naar de bodem/het grondwater
Nitraat en nitriet	170	390
Koper	2	5
Lood	12	21
Cadmium	0,1	0,2
Benzo(a)pyreen	0,01	0,02

Tabel 6.1 Schatting van de belasting van het regenwaterriool en het grondwater c.q. de bodem in een woonwijk in Lelystad (in kilogram per km² per jaar) (bron: Van de Ven, 1991)

Drinkwaterwinning

Verstedelijking leidt er toe dat de vraag naar schoon water voor huishoudens en bedrijven op een bepaalde plaats toeneemt. Ongeveer tweederde van de hoeveelheid drinkwater in Nederland wordt bereid uit grondwater (During e.a., 1995). Grondwaterwinning kan schadelijk zijn voor het milieu wanneer het bijdraagt aan verdroging. Winning uit oppervlaktewater wordt vaak als minder negatief gezien. Negatieve milieu-effecten van winning uit oppervlaktewater zijn echter dat voor de zuivering meer energie en chemicaliën nodig zijn en dat na zuivering vervuild zuiveringsslib overblijft (De Smit, pers. meded.). Volgens De Smit (pers. meded.) hoeft winning uit oppervlaktewater daarom niet altijd gunstiger te zijn. Het is mogelijk om winning uit oppervlaktewater te combineren met kunstmatige infiltratie. Het grootste deel van de Randstad wordt van drinkwater voorzien via kunstmatige infiltratie van water uit de Rijn en de Maas in de duinen (Meinardi, pers. meded.).

Lozing van afvalwater

Het water dat in steden gebruikt wordt als drinkwater en voor industriële toepassingen wordt geloosd als afvalwater. Hierin kunnen vermestende stoffen, zware metalen en allerlei organische verbindingen voorkomen. Dit water wordt grotendeels, na behandeling in een RWZI, geloosd op het oppervlaktewater. Afhankelijk van het type RWZI kunnen nog verontreinigingen in het water achterblijven (Bueno de Mesquita e.a., 1994).

Bestaande steden hebben meestal een zogenaamd gemengd rioolstelsel, waarin het regenwater samen met het afvalwater naar een RWZI wordt afgevoerd. Dergelijke rioolstelsels brengen riooloverstorten met zich mee (zie hoofdstuk 4), waardoor het oppervlaktewater wordt verontreinigd met afvalwater (Van Bakel e.a., 1995). Riooloverstorten kunnen worden vermeden door geen gemengd rioolstelsel maar een gescheiden stelsel aan te leggen. In Nederland is dit in nieuwbouwlocaties reeds praktijk. Bij een gescheiden rioolstelsel wordt het afvalwater naar de RWZI getransporteerd en wordt het regenwater op het oppervlaktewater geloosd. Hierdoor wordt het vuilwaterriool bij hevige regenbuien niet

extra belast, waardoor er geen sprake is van riooloverstorten (Broodbakker e.a., 1995). Bovendien is er op deze manier een meer constante watertoevoer naar een RWZI, waardoor het rendement van de zuivering wordt vergroot (Van Bakel e.a., 1995).⁵ Omdat ombouw van gemengde naar gescheiden rioolstelsels over het algemeen economisch niet haalbaar is, is aanleg van gescheiden rioolstelsels alleen mogelijk bij nieuwbouwlocaties (Broodbakker e.a., 1995).

Uit het bovenstaande blijkt dat verstedelijking op verschillende manieren de waterhuishouding nadelig kan beïnvloeden. Verstedelijking leidt vaak tot verstoring van de oorspronkelijke waterbalans omdat regenwater en grondwater versneld uit een gebied worden afgevoerd. Hierdoor wordt de grondwaterstand verlaagd en moet vaak gebiedsvreemd water worden ingelaten om watertekorten te compenseren. De mate waarin negatieve effecten ontstaan, is echter sterk afhankelijk van onder meer de wijze waarop de grond bouwrijp wordt gemaakt, de gehanteerde ontwateringsdiepte, de wijze waarop drinkwater gewonnen wordt en het type rioolstelsel. Mogelijke effecten van het bouwrijp maken van de grond, ontwatering en toename van het verharde oppervlak kunnen door technische en stedenbouwkundige maatregelen worden vermeden of beperkt (Van Bakel e.a., 1995; Broodbakker e.a., 1995). Wanneer bij verstedelijking het natuurlijke oppervlakte- en grondwatersysteem van een gebied wordt behouden, wordt gesproken van "waterneutraal bouwen". Om een meer duurzame waterhuishouding te creëren is het van groot belang om zoet water langer vast te kunnen houden. In de stedenbouw zou het behouden en vergroten van de zoetwatervoorraad dan ook een centraal uitgangspunt moeten zijn (Zuurdeeg, pers. meded.).

Doordat men sinds de jaren zestig genoodzaakt is te bouwen in gebieden met een slechte bodemgesteldheid of hoge grondwaterstanden en te weinig rekening is gehouden met de waterhuishouding heeft verstedelijking geleid tot negatieve hydrologische effecten. Volgens Broodbakker e.a. (1995) wordt ook tegenwoordig bij het ontwerp van nieuwe wijken vaak onvoldoende rekening gehouden met waterhuishoudkundige aspecten. Dit hangt samen met het feit dat er vaak onvoldoende overleg is tussen gemeenten en waterschappen en dat bestuurlijke verantwoordelijkheden vaak niet duidelijk zijn. Bovendien is bij de uitvoerende instanties vaak onvoldoende kennis van de hydrologie van het desbetreffende gebied beschikbaar (Broodbakker e.a., 1995). In het kader van het "duurzaam bouwen" is echter de aandacht voor de waterhuishouding bij het stedenbouwkundig ontwerp recentelijk toegenomen (Zuurdeeg, pers. meded.).

6.3 Effecten en maatregelen in verschillende typen gebieden

De mogelijke effecten van verstedelijking op de waterhuishouding verschillen per gebied. Met name de bodemsoort en de stand en stromingsrichting van het grondwater zijn hierbij van belang. De noodzakelijke maatregelen om negatieve effecten te voorkomen, zijn dan ook niet overal gelijk (Broodbakker e.a., 1995).

⁵ Omdat bij een gescheiden rioolstelsel toch nog vervuild regenwater in het oppervlaktewater terecht komt (onder andere als gevolg van verkeerde aansluitingen; De Smit, pers. meded.) is het *verbeterd gescheiden* stelsel ontworpen. Hierbij wordt ook het regenwater bij droog weer naar de RWZI afgevoerd en alleen bij grotere buien (deels) afgevoerd naar het oppervlaktewater (Broodbakker e.a., 1995).

In een studie van Bueno de Mesquita e.a. (1994) is een kwalitatieve methode ontwikkeld waarmee verschillende potentiële verstedelijkingslocaties onderling kunnen worden vergeleken op basis van effecten op waterafhankelijke functies zoals natuur, landbouw, recreatie en drinkwaterwinning. Deze studie heeft betrekking op de Stedenring Centraal Nederland. Als analyse-eenheden zijn zogenaamde planningseenheden onderscheiden, die afgebakend zijn op basis van dominante grondwaterstelsels en kenmerken die afhankelijk zijn van het landschapstype, zoals bodem, oppervlaktewater en de aanwezige waterafhankelijke functies. Per planningseenheid is voor iedere waterafhankelijke functie globaal en kwalitatief aangegeven welke effecten te verwachten zijn van verstedelijking. Ook is gekeken naar mogelijke beïnvloeding van andere planningseenheden. De conclusie van het onderzoek luidt dat droogmakerijen en zeelegebieden en een deel van het rivierengebied het meest geschikt zijn voor verstedelijking. Kust-, zand- en veengebieden en een ander deel van het rivierengebied zouden minder geschikt zijn om te bouwen. In deze gebieden zou gedacht kunnen worden aan het nemen van compenserende maatregelen. Volgens de onderzoekers is enige voorzichtigheid geboden bij het interpreteren van deze conclusies in verband met het kwalitatieve karakter van de onderzoeksmethode. Voor een meer gedetailleerde en kwantitatieve onderbouwing zou nader onderzoek noodzakelijk zijn. Niettemin wordt de methode als een bruikbaar hulpmiddel bij de keuze tussen verschillende verstedelijkingslocaties beschouwd (Bueno de Mesquita e.a., 1994).

In de genoemde studie is ervan uitgegaan dat verstedelijking in elk gebied op dezelfde manier plaatsvindt. Verondersteld is dat bij de bouw van een nieuwe wijk of stad een zandlaag wordt aangebracht, de grondwaterstand wordt verlaagd, het areaal verhard oppervlak wordt vergroot, waterwinning in de nabijheid van de stad plaatsvindt en het oppervlaktewater en het grondwater door stedelijke activiteiten worden vervuild. Er wordt in het onderzoek geen rekening gehouden met de mogelijkheid om waterneutraal te bouwen. Bovendien is geen rekening gehouden met het feit dat de effecten van waterwinning en verontreiniging van het oppervlaktewater niet noodzakelijkerwijs in de directe omgeving van een stad hoeven op te treden. Drinkwater kan immers relatief goedkoop worden getransporteerd (Meinardi, pers. meded.) Ook afvalwater kan via pijpleidingen worden vervoerd naar het meest gewenste lozingspunt (Beugelink, pers. meded.). De conclusies met betrekking tot de geschiktheid van verschillende typen gebieden voor verstedelijking dienen daarom in het licht van de genoemde veronderstellingen te worden beoordeeld.

Voor de analyse van mogelijke effecten van verstedelijking is het van belang of er sprake is van een infiltratiegebied, een kwelgebied of een intermediair gebied. Infiltratiegebieden zijn gebieden waar neerslag de grond intrekt om het grondwater te voeden; deze neerwaartse grondwaterstroming wordt inzijing of wegzijing genoemd. In kwelgebieden komt het grondwater juist omhoog. Intermediaire gebieden liggen tussen infiltratiegebieden en kwelgebieden in; hier is noch infiltratie, noch kwel dominant, maar is sprake van een horizontale grondwaterstroming (Bueno de Mesquita e.a., 1994).

During e.a. (1995) hebben in een advies aan de Rijksplanologische Dienst criteria geformuleerd op basis waarvan verschillende locaties kunnen worden vergeleken wat betreft effecten op de waterhuishouding. Deze locatiecriteria luiden, in de door de onderzoekers geschatte volgorde van belangrijkheid, als volgt:

1. vermijd locaties met ontwateringsnoodzaak, dat wil zeggen locaties met een grondwaterpeil hoger dan 0,9-1,0 meter beneden maaiveld;
2. vermijd locaties in (potentiële) infiltratiegebieden;
3. kies bij voorkeur locaties die onnatuurlijke kwel verminderen (dat wil zeggen in droogmakerijen);

4. vermijd locaties op relatief grote afstand van het hoofdafvoersysteem of locaties aan een hoofdafvoersysteem dat gebieden of wateren met kwetsbare waterafhankelijke functies (met name natuur en waterwinning) nadelig beïnvloedt;
5. kies bij voorkeur locaties in de nabijheid van (potentieel) oppervlaktewater voor drinkwaterwinning;
6. kies bij voorkeur locaties waar de invloed van verstedelijking minder schadelijk is dan het huidige gebruik.

Bij het formuleren van de criteria is in eerste instantie uitgegaan van de gangbare praktijk bij verstedelijking. Wanneer de mogelijkheden voor het toepassen van waterneutraal bouwen worden meegewogen, verandert volgens de onderzoekers de zwaarte van de criteria enigszins, maar blijven ze voldoende onderscheidend tussen de locaties. Omdat mitigerende maatregelen niet altijd in alle gebieden van toepassing zijn en elk slechts betrekking heeft op één of enkele negatieve effecten van verstedelijking op de waterhuishouding, zouden ze de effecten van uitbreidingslocaties maar gedeeltelijk kunnen tegen gaan (During e.a., 1995).

Met deze laatste conclusie wordt voorbijgegaan aan het feit dat juist door een specifieke combinatie van maatregelen die toegesneden is op lokale omstandigheden veel negatieve effecten van verstedelijking kunnen worden vermeden. Een analyse van de mogelijkheden van waterneutraal bouwen in verschillende typen gebieden is te vinden in het rapport "Water in de bebouwde omgeving" (Broodbakker e.a., 1995).

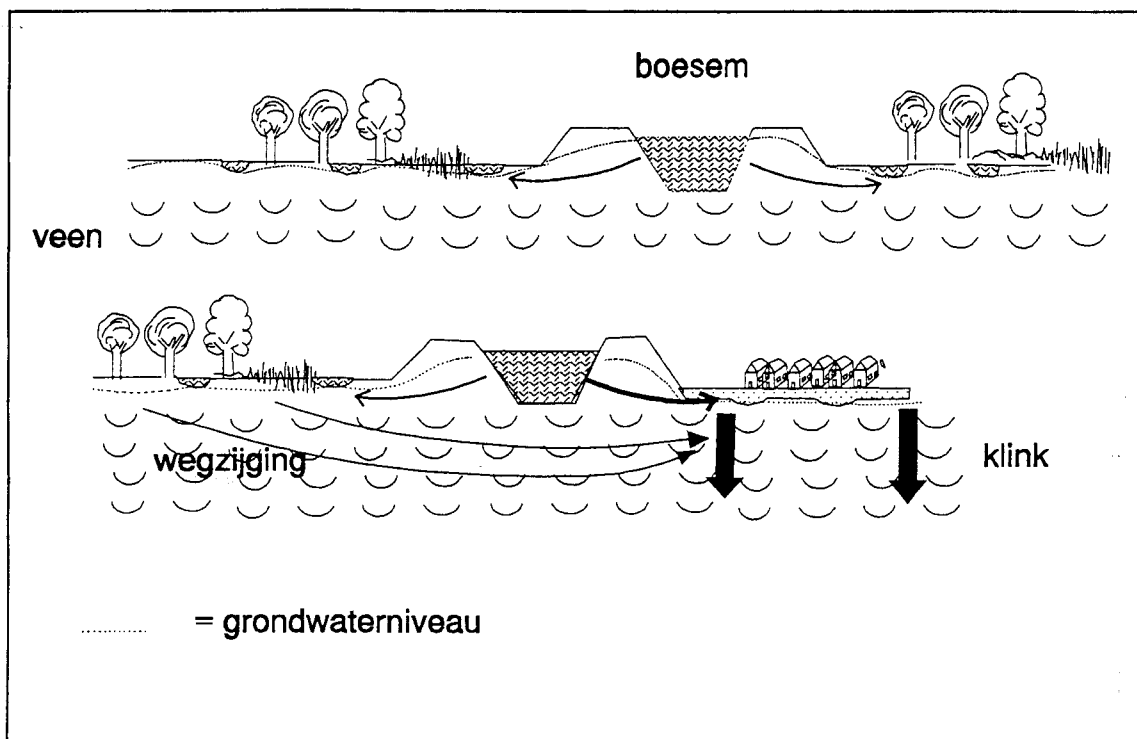
In deze paragraaf wordt ingegaan op de eerste drie locatiecriteria van During e.a. (1995), die betrekking hebben op het bouwrijp maken van de grond, ontwatering, vergroting van het areaal verhard oppervlak en verontreiniging van het grondwater. Op de overige drie locatiecriteria, die betrekking hebben op de effecten van drinkwaterwinning en lozing van afvalwater, wordt in paragraaf 6.4 nader ingegaan.

Veenweidegebieden

De (laag)veengebieden in het Groene Hart van de Randstad worden veenweidegebieden genoemd. Door hun openheid en drassige karakter zijn deze veeteeltgebieden zeer in trek bij weidevogels en worden er ook veel botanisch waardevolle plantesoorten aangetroffen (Kamphuis e.a., 1995). Veenweidegebieden kunnen relatief hoger of lager gelegen zijn dan de omgeving, zodat in het ene geval kwel en in het andere geval wegzijging overheerst. In laag gelegen delen van het veenweidegebied treedt veel (soms zoute) kwel op en is de grondwaterstand met name in de winter hoog. Veen, dat uit een afzetting van afgestorven plantedelen bestaat, is eenvoudig samen te drukken en klinkt bij ontwatering in. Ontwatering gaat gepaard met gedeeltelijke afbraak van het veen (oxidatie of mineralisatie) waardoor de bodem uiteindelijk daalt tot nabij het nieuwe grondwaterniveau. De huidige ontwatering ten behoeve van de landbouw leidt er dan ook toe dat veenweidegebieden steeds dieper komen te liggen. Omdat in de zomer vaak watertekorten optreden en vanwege de invloed van het zoute water wordt vaak gebiedsvreemd vervuild water ingelaten (Broodbakker e.a., 1995; Kamphuis e.a., 1995).

Volgens During e.a. (1995) zou verstedelijking in het veenweidegebied (en in kwelgebieden op kleigronden) moeten worden vermeden ("vermijd locaties met ontwateringsnoodzaak"). Verstedelijking die gepaard gaat met ontwatering en integrale ophoging met zand zou leiden tot daling van de bodem en de grondwaterstand. Verlaging van de grondwaterstand kan in laag gelegen delen leiden tot een versterkte wegzijging van water uit hoger gelegen polders, waardoor in deze polders verdrogingseffecten optreden (During e.a.,

1995). In figuur 6.2 is deze redenering weergegeven. Andere effecten kunnen zijn een toename van zoute kwel en het vrijkomen van vermistende stoffen door oxidatie van het veen (During e.a., 1995).



Figuur 6.2 Mogelijke hydrologische effecten van verstedelijking in een veen(weide)gebied (bron: During e.a., 1995)

Volgens Broodbakker e.a. (1995) kunnen de negatieve effecten van verstedelijking in een veengebied echter worden voorkomen. Uit berekeningen blijkt dat aanleg van een wijk in een veengebied waarbij integrale ophoging wordt toegepast weliswaar in eerste instantie tot bodemdaling leidt, maar geen daling van de grondwaterstand tot gevolg hoeft te hebben (Broodbakker e.a., 1995). Ook uit een onderzoek van Van Bakel e.a. (1995) blijkt dat bij integrale ophoging de verdrogende effecten van verstedelijking op een veengrond vrijwel verwaarloosbaar zijn. Een voordeel van integrale ophoging zou kunnen zijn dat het veenpakket definitief onder water wordt gehouden, waardoor geen mineralisatie meer plaatsvindt (Zuurdeeg, pers. meded.). Een nadeel van deze methode van bouwrijp maken, is echter dat de handhaving van het grondwaterpeil toch gepaard gaat met het verlies van gebiedseigen water, omdat het poriënvolume van zand veel kleiner is dan van veen (30% resp. 90%), waardoor de bodem minder water kan vasthouden (Broodbakker e.a., 1995; Zuurdeeg, pers. meded.). Verder moet bij integrale ophoging in verband met de bodemdaling enkele jaren worden gewacht voordat met bouwen kan worden begonnen (Broodbakker e.a., 1995). Een derde nadeel is dat in veenweidegebieden waarschijnlijk relatief veel zand nodig is, dat vaak van elders of diep uit de bodem moet worden betrokken. Wanneer ophoogzand over grote afstanden getransporteerd moet worden, kunnen de kosten aanzien-

lijk zijn (De Smit, pers. meded.). Tenslotte zijn er bij integrale ophoging minder goede mogelijkheden tot inpassing in het landschap (Broodbakker e.a., 1995).

Om bodemdaling te vermijden kan voor het bouwrijp maken van terreinen ook gebruik worden gemaakt van een zettingsvrije methode. Diepe ontwatering kan bovendien worden vermeden door te bouwen zonder kruipruimte (zie paragraaf 6.2). Een bezwaar hiervan kan echter zijn dat de mineralisatie van het veen door blijft gaan zolang het veen boven het water uitsteekt (Zuurdeeg, pers. meded.).

Volgens Broodbakker e.a. (1995) is de meest milieuvriendelijke optie in het veenweidegebied het bouwen op drijvende constructies. Technisch is het mogelijk om huizenblokken bijvoorbeeld op drijvende pontons aan te brengen. In dit geval zou voor een relatief hoog percentage open water (30%) moeten worden gekozen (Broodbakker e.a., 1995). Te hoge bebouwingsdichtheden lijken daarom in dit geval niet gunstig te zijn. Doordat ook in het voorjaar de grondwaterstand hoog wordt gehouden, de verdamping is verminderd en de berging in het oppervlaktewater is vergroot, nemen de zomerse watertekorten af. Hierdoor is geen inlaat van gebiedsvreemd water meer nodig (Broodbakker e.a., 1995). Wanneer op drijvende constructies wordt gebouwd, geeft verstedelijking zelfs betere mogelijkheden voor een duurzaam waterbeheer dan het bestaande landbouwkundig gebruik. De ontwatering ten behoeve van de landbouw leidt immers tot een geleidelijke bodemdaling en mineralisatie van het veen, waardoor de mogelijkheden om zoet water vast te houden worden beperkt. Vanwege de directe aantasting van natuurwaarden kan verstedelijking in het veenweidegebied echter wel ongewenst zijn. In tabel 6.2 zijn de (mogelijke) voor- en nadelen van de verschillende bouwmethoden in het veenweidegebied nog eens samengevat.

	Integraal ophogen	Zettingsvrije methode	Drijvende stad
Voordelen	Uiteindelijk stopzetten zetting en mineralisatie van het veen	Weinig zetting Minder zand nodig Betere inpassing in landschap	Stopzetten zetting Optimaal behoud zoetwatervoorraad/geen inlaat gebiedsvreemd water Geen zand nodig
Nadelen	Vermindering van de bergingscapaciteit door vervanging van veen door zand Veel zand nodig Langer wachten met bouw Geringe mogelijkheden voor inpassing in landschap	Nog steeds mineralisatie veen	

Tabel 6.2 Mogelijke voor- en nadelen van bouwmethoden in het veenweidegebied

Vergroting van het areaal verhard oppervlak is in veengebieden niet problematisch, omdat de infiltratie hier niet of nauwelijks een ecologische functie heeft (Meinardi, pers. meded.). Omdat de omvang van de verontreiniging van het grondwater in stedelijke gebieden onduidelijk is, kan hier weinig over worden gezegd. Een voordeel van bouwen in kwelgebieden zou kunnen zijn dat het water aan de oppervlakte blijft, waardoor de verspreiding van verontreinigingen relatief goed te beheersen is (zie ook onder zandgebieden). In delen van het veenweidegebied waar infiltratie overheerst, kan verontreiniging echter de bodem intrekken. Volgens Meinardi (pers. meded.) zijn de gevolgen hiervan waarschijnlijk gering. Omdat de bodem niet erg doorlatend is, is de hoeveelheid infiltrerend regenwater beperkt. Bovendien komen eventuele verontreinigingen hier in het algemeen niet terecht in ecologisch waardevolle kwelgebieden, maar in het afwateringssysteem (Meinardi, pers. meded.). Geconcludeerd kan worden dat negatieve effecten van ontwatering, het bouwrijp maken en toename van het verharde oppervlak in het veenweidegebied kunnen worden voorkomen. Een drijvende stad lijkt hiervoor de beste mogelijkheden te bieden. De effecten van verontreiniging van het grondwater zijn onzeker, maar waarschijnlijk niet groot.

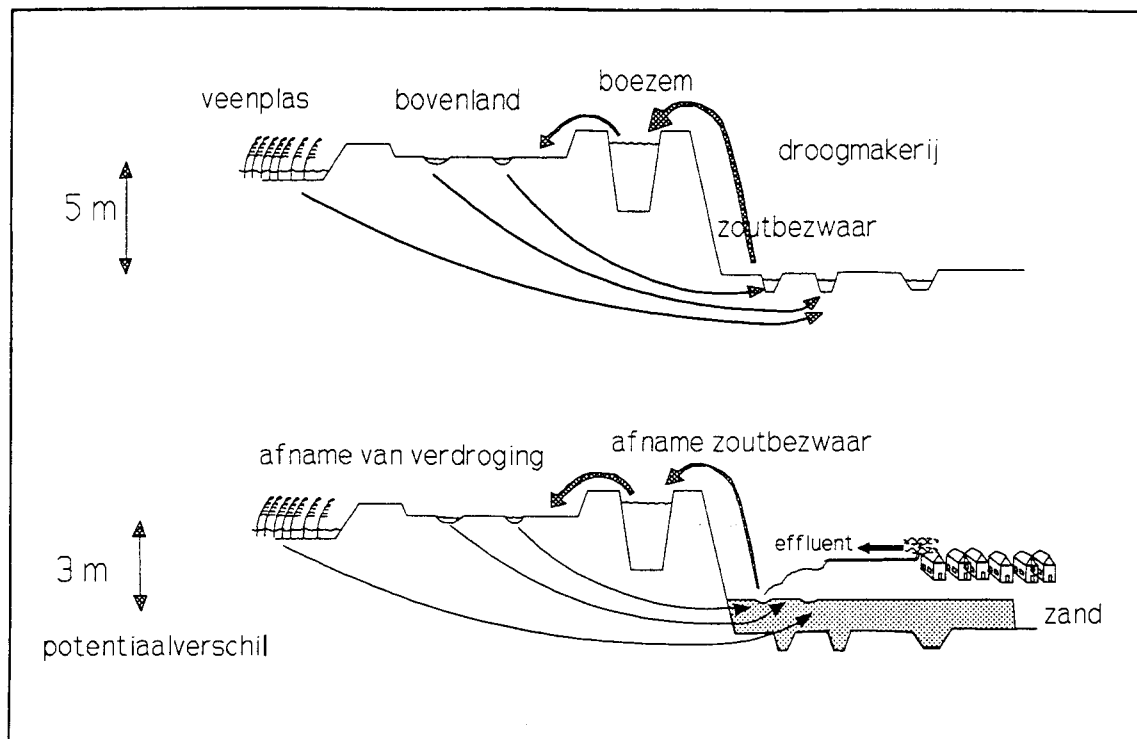
Droogmakerijen

Droogmakerijen zijn kleigebieden die zijn ontstaan door drooglegging van meren en ontveende gebieden. Ze behoren tot de laagst gelegen gebieden in Nederland. Het landgebruik is in veel gevallen akkerbouw en tuinbouw (Bueno de Mesquita e.a., 1994). Door de lage ligging ontvangen droogmakerijen kwel van water dat afkomstig is van omringende hoger gelegen gronden en (boezem)wateren. Deze wegzijging van grondwater uit hoger gelegen veenweidepolders is één van de redenen waarom in het veenweidegebied inlaat van gebiedsvreemd en vervuild water noodzakelijk is. Nog meer dan in diep gelegen veenweidepolders is sprake van voedselrijke zoute kwel, waardoor problemen kunnen ontstaan voor de landbouw. (Kamphuis e.a., 1995).

Volgens During e.a. (1995) kunnen de problemen die met de (door hen "onnatuurlijk" genoemde) kwelstromen samenhangen, worden verminderd door verstedelijking in droogmakerijen te situeren ("kies bij voorkeur locaties die onnatuurlijke kwel verminderen"). Verstedelijking in droogmakerijen waarbij de grond bouwrijp wordt gemaakt door integrale ophoging met zand zou het hoogteverschil met de omgeving verminderen en daarmee de kwel en de verdroging in de omliggende hoger gelegen polders doen afnemen. Het schadelijk effect op natuur en landschap van integrale ophoging met zand is in droogmakerijen relatief beperkt (During e.a., 1995). In figuur 6.3 is deze redenering weergegeven. Overigens moet bij "verdroging" in dit verband worden gedacht aan de component van de inlaat van gebiedsvreemd water.

Omdat integrale ophoging echter bodemdaling met zich meebrengt, is het de vraag of de grondwaterstand in droogmakerijen inderdaad zodanig verhoogd kan worden dat een significante afname van de kwel en de wegzijging uit hogere polders optreedt (Beugelink, pers. meded.; Meinardi, pers. meded.). Voor het mogelijk maken van een hoge grondwaterstand en om praktische problemen in verband met bodemdaling te voorkomen, is het wellicht beter om in droogmakerijen een zettingsvrije methode van bouwrijp maken toe te passen. Voor het behoud van de zoetwatervoorraad zou - net als in het veenweidegebied - het bouwen van drijvende wijken echter het meest gunstig kunnen zijn, omdat hierdoor het

waterpeil zo hoog mogelijk kan worden gebracht.⁶ In ieder geval lijken er vanuit milieuoogpunt weinig bezwaren tegen verstedelijking in droogmakerijen te zijn. Omdat nauwelijks wegzijging naar de bodem plaatsvindt, zijn de effecten van toename van het verharde oppervlak en verontreiniging van het grondwater mogelijk gering.



Figuur 6.3 Mogelijke hydrologische effecten van verstedelijking in droogmakerijen (bron: During e.a., 1995)

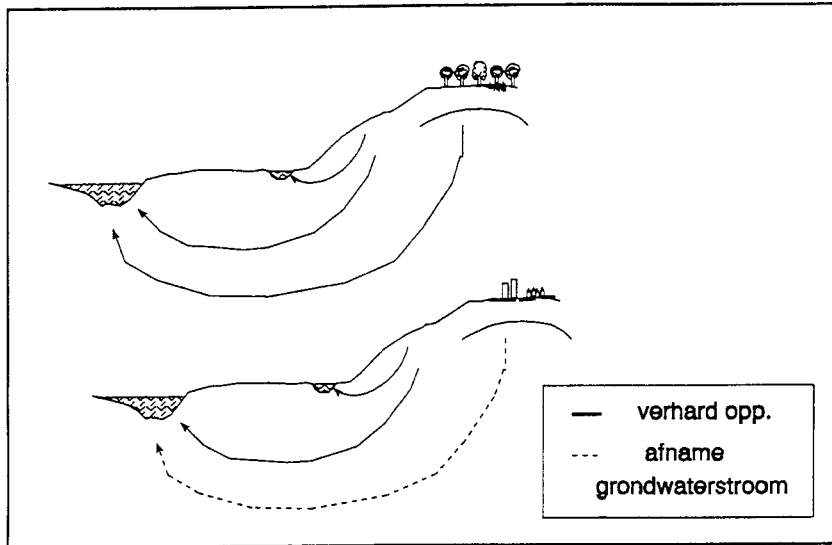
Zandgebieden

Zandgebieden komen voor op hoger gelegen delen van Nederland en in een smalle strook langs de kust. Zand heeft als kenmerk dat water goed kan infiltreren. Het vasthouden van voldoende gebiedseigen water is in zandgebieden vaak een probleem. Door de snelle afvoer van relatief schoon regenwater ontstaat in de zomer verdroging. Om dit tegen te gaan wordt vaak vervuild gebiedsvreemd water ingelaten. Op hoger gelegen zandgronden zoals dekzandruggen, heuvels en duinen is er meestal sprake van permanente infiltratie van water. Op lager gelegen zandgronden is meestal sprake van kwel (Broodbakker e.a., 1995).

Negatieve effecten van het bouwrijp maken van de grond en ontwatering kunnen in zandgebieden worden voorkomen door het te bebouwen terrein slechts gedeeltelijk op te hogen (de zogenaamde cunettenmethode) en kruipruimteloos te bouwen (Broodbakker e.a., 1995).

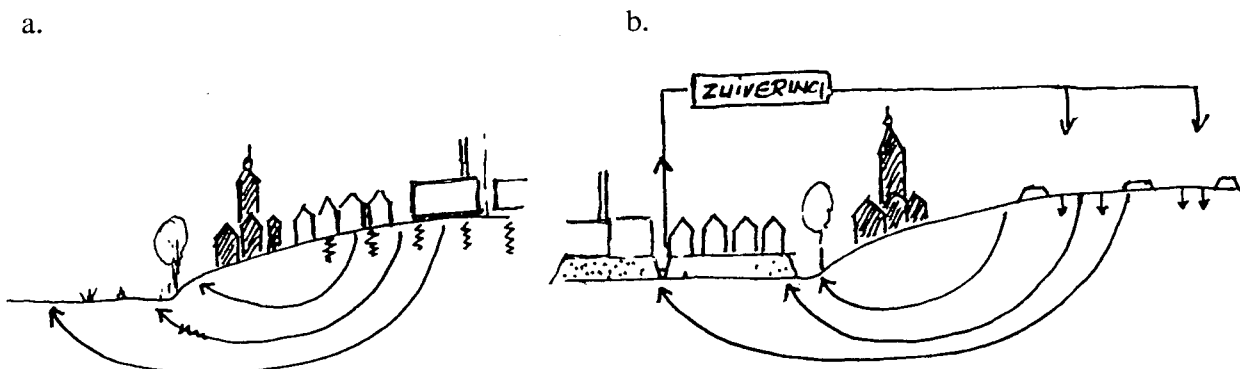
⁶ In dat geval kan uitgegaan worden van het niveau van het water dat zich vanzelf instelt door de voeding van kwelwater en regenwater. Het wateroverschot dat hierdoor ontstaat (het water wordt immers niet meer afgevoerd naar zee) zou gebruikt kunnen worden om watertekorten in het veenweidegebied te compenseren. De invloed van gebiedsvreemd Rijnwater en van verzilting kan hierdoor worden tegengegaan (Zuurdeeg, pers. meded.).

In infiltratiegebieden kan verstedelijking nadelig zijn in verband met de toename van het verharde oppervlak; hierdoor kan minder regenwater in de bodem infiltreren. Als gevolg hiervan vermindert de grondwateraanvulling en ontstaat in lager gelegen kwelgebieden verdroging. In figuur 6.4 is dit weergegeven.



Figuur 6.4 Verstedelijking in infiltratiegebieden (bron: During e.a., 1995)

Volgens During e.a. (1995) zou verstedelijking in infiltratiegebieden daarom zoveel mogelijk moeten worden beperkt (criterium 2). Er bestaan echter verschillende manieren om regenwater te laten infiltreren, waardoor verdroging kan worden voorkomen (zie paragraaf 6.2). Omdat de toename van het verharde oppervlak ook de verdamping uit de grond vermindert, kan het netto resultaat zelfs zijn dat een stad als waterbron voor de omgeving fungeert (Broodbakker e.a., 1995). Voor de waterkwantiteit hoeft verstedelijking in infiltratiegebieden dus niet problematisch te zijn. In verband met verontreiniging van het grondwater wordt de waterkwaliteit mogelijk wel enigszins bedreigd. In figuur 6.5 zijn twee uiterste keuzen voor de locatie van een stad in zandgebieden weergegeven.



Figuur 6.5 Verstedelijking in een infiltratiegebied (a) en in een kwelgebied (b) (bron: Zuurdeeg, 1996)

In een infiltratiegebied (locatie a) kan verstedelijking vanwege de verontreiniging van het grondwater leiden tot bedreiging van het kwelgebied dat ermee in verbinding staat. Dergelijke kwelgebieden zijn vaak ecologisch waardevol. Volgens Van de Ven (1991) kunnen stedelijke uitbreidingen vanwege de verontreiniging van het grondwater dan ook beter gerealiseerd worden in gebieden met een slecht doorlatende ondergrond dan op goed doorlatende gronden in infiltratiegebieden.

In locatie b zou grondwaterverontreiniging minder ernstige effecten hebben, omdat het water de grond uit komt en vuil water de grond dus niet in kan.⁷ Omdat oppervlaktewater makkelijker te transporteren en te reinigen is dan grondwater is de verspreiding van verontreinigingen in kwelgebieden beter beheersbaar (Zuurdeeg, 1996; pers. meded.). Bedacht moet echter worden dat kwelgebieden op de zandgronden (locatie b) vaak belangrijke ecologische waarden hebben, waardoor verstedelijking vanwege andere effecten (versnippering, zie hoofdstuk 5) ongunstig is. In figuur 6.5 is weergegeven dat bij verstedelijking in een kwelgebied het gereinigde water op hoger gelegen locaties weer kan worden geïnfilteerd om de grondwatervoorraad aan te vullen. Hierdoor kan verdroging worden tegengegaan en wordt water binnen het gebied langer vastgehouden. De waterkringloop wordt op deze manier gesloten.

Over de effecten van grondwaterverontreiniging in infiltratiegebieden op ecosystemen in kwelgebieden is weinig bekend. Omdat het honderden jaren kan duren voordat het grondwater de kwelgebieden bereikt heeft verontreiniging veel tijd om te worden afgebroken. Bovendien treedt een grotere verdunning op in vergelijking met een situatie waarbij drainage wordt toegepast (Van der Linden, pers. meded.). Volgens Van der Linden (pers. meded.) kan daarom niet worden gesteld dat bouwen in infiltratiegebieden in alle gevallen ongunstiger is dan elders. In tabel 6.3 zijn de voor- en nadelen van bouwen in een infiltratiegebied en een (ecologisch waardevol) kwelgebied samengevat.

	Infiltratiegebied	Kwelgebied
Voordeel	Meer verdunning dan bij drainage Grotere afbraak van verontreinigingen	Grondwaterverontreiniging relatief goed beheersbaar
Nadeel	Grondwaterverontreiniging slecht beheersbaar	Ecologisch waardevol Meer geconcentreerde verontreiniging

Tabel 6.3 Voor- en nadelen van bouwen in een infiltratiegebied en een kwelgebied

Uit het voorgaande blijkt dat er verschil van inzicht bestaat over de vraag in hoeverre verontreiniging van het grondwater door verstedelijking tot een voorkeur voor infiltratiegebieden of kwelgebieden leidt. De ernst van deze verontreiniging is onduidelijk, maar mogelijk gering.

⁷ Om deze reden worden afvalstortplaatsen vaak niet in infiltratiegebieden gepland, maar in gebieden met sterke kwel (Zuurdeeg, pers. meded.).

Zeekleigebieden en rivierkleigebieden

In zeekleigebieden en rivierkleigebieden kan verstedelijking nadelig zijn wanneer in verband met ontwatering en het bouwrijp maken van de grond de grondwaterstand wordt verlaagd (Broodbakker e.a., 1995). Om bodemdaling te voorkomen kan een zettingsvrije methode van bouwrijp maken worden gehanteerd. Bovendien kan een hoge grondwaterstand mogelijk worden gemaakt door te bouwen zonder kruipruimtes. Volgens Bueno de Mesquita e.a. (1994) zijn zeekleigebieden en rivierkleigebieden weinig gevoelig voor antropogene activiteiten die van invloed kunnen zijn op de grondwaterkwaliteit vanwege de bufferende werking van klei. Grote negatieve effecten door vergroting van het areaal verhard oppervlak zijn in kleigebieden niet te verwachten, vanwege de beperkte infiltratie.

Uit het bovenstaande volgt dat het niet eenvoudig is om in verband met ontwatering, het bouwrijp maken van de grond en vergroting van het areaal verhard oppervlak criteria te formuleren op basis waarvan verstedelijkingsvarianten kunnen worden vergeleken. Negatieve effecten van deze drie ingrepen kunnen door technische en stedenbouwkundige maatregelen praktisch worden voorkomen. Verontreiniging van het grondwater is wat minder goed te vermijden, maar het is onduidelijk of dit leidt tot een voorkeur voor bepaalde gebieden.

Wanneer verondersteld wordt dat waterneutraal wordt gebouwd, lijkt de waterhuishouding van beperkte betekenis te zijn bij de vergelijking van potentiële bouwlocaties. Of in de praktijk waterneutraal wordt gebouwd, is afhankelijk van de kennis, financiële middelen en bereidheid bij diverse overheden. Toch is het zinvol om bij de analyse niet zonder meer uit te gaan van de gangbare bouwpraktijk, maar om de mogelijkheden van waterneutraal bouwen en de kosten daarvan nadrukkelijk in de beschouwing te betrekken. Omdat de waterhuishouding in de huidige praktijk bij de keuze van locaties voor verstedelijking een ondergeschikte rol speelt, zullen vaak locaties gekozen worden die volgens de gangbare bouwmethoden (enige) beïnvloeding van de waterhuishouding met zich meebrengen. Inzicht in noodzakelijke aanpassingen en de kosten daarvan in een vroeg stadium van de planvorming is daarom van groot belang. Volgens De Smit (pers. meded.) kunnen deze kosten per locatie aanzienlijk verschillen.

6.4 Waterwinning en verontreiniging van het oppervlaktewater

In paragraaf 6.3 is ingegaan op effecten als gevolg van het bouwrijp maken van de grond, ontwatering, toename van het verharde oppervlak en grondwaterverontreiniging. In deze paragraaf worden drinkwaterwinning en lozing van afvalwater behandeld.

Drinkwaterwinning

Volgens During e.a. (1995) zou bij de locatiekeuze voor verstedelijking rekening gehouden moeten worden met de mogelijkheid om in de nabijheid van de nieuwe locaties drinkwater uit oppervlaktewater te winnen (locatiecriterium 5, zie paragraaf 6.3). Volgens De Smit (pers. meded.) is het gewenst om de afstand tussen winning en gebruik van water enigszins te beperken vanwege het - continu - benodigde energieverbruik bij het transport van water en het gebruik van materialen voor de aanleg van waterleidingen. Volgens Meinardi (pers. meded.) is het energieverbruik voor het transport van water echter zeer beperkt. In paragraaf 6.2 is gebleken dat het niet duidelijk is of winning uit oppervlaktewater altijd gunstiger is dan winning uit grondwater.

Overigens kan ook worden gekozen voor bereiding van drinkwater uit regenwater. Medewerkers van Zandvoort Ordening en Advies uit Utrecht en het Instituut voor Bos- en Natuuronderzoek uit Wageningen hebben deze gedachte uitgewerkt in de inzending "Chaining Waters" voor de door de Eo Wijersstichting georganiseerde prijsvraag "Inside Randstad Holland". Hierin wordt voorgesteld om regenwater op te vangen in twee ketens van reservoirs in het Groene Hart die op twee bestaande waterleidingen worden aangesloten. Infiltratie in de duinen zou overbodig worden omdat drinkwater direct van de waterbassins kan worden onttrokken. Aan de reservoirs kunnen natuur, extensieve landbouw en recreatie gekoppeld worden. Gezien de ligging van de waterleidingen, de regenwaterreservoirs en de infrastructuur tussen de bestaande steden, zou verstedelijking plaats moeten vinden ten noorden van de bovenste keten (tussen Amsterdam en Utrecht) en ten zuiden van de onderste keten (tussen Rotterdam en Den Haag) (Eo Wijersstichting, 1995; Tjallingii, pers. meded.). In deze gedachtengang wordt de drinkwatervoorziening in bestaand en nieuw stedelijk gebied dus in samenhang tot elkaar gezien en wordt uitgegaan van nabijheid tot bestaande waterleidingen. Nadelen van grootschalige drinkwaterwinning uit regenwater zijn echter het grote ruimtebeslag en de kwetsbaarheid voor atmosferische verontreiniging (Meinardi, pers. meded.). Het is daarom de vraag of sprake is van een duidelijke voorkeur van regenwater boven andere methoden van drinkwaterwinning. Bovendien hoeft gebruik van regenwater niet automatisch te leiden tot aansluiting op bestaande waterleidingen. Bij waterwinning kan ook gedacht worden aan industrieën die zelf lokaal grondwater oppompen. Voor de vergelijking van nieuwe verstedelijkingslocaties speelt dit aspect echter geen rol, omdat hier bij het vergunningenbeleid rekening mee kan worden gehouden. Uit het bovenstaande volgt dat de milieu-effecten van drinkwaterwinning waarschijnlijk niet zo belangrijk zijn voor de vergelijking van verstedelijkingsvarianten.

Lozing van afvalwater

Als vierde locatiecriterium noemen During e.a. (1995) "vermijd locaties op relatief grote afstand van het hoofdafvoersysteem of locaties aan een hoofdafvoersysteem dat gebieden of wateren met kwetsbare waterafhankelijke functies (met name natuur- en waterwinning) nadelig beïnvloedt". Dit houdt verband met de lozing van stedelijk afvalwater. Verstedelijking op locaties op grote afstand van het hoofdafvoersysteem betekent namelijk dat toekomstig stedelijk water een relatief lange weg moet afleggen, waardoor meer functies langs deze weg kunnen worden beïnvloed. Dit criterium zou leiden tot een voorkeur voor verstedelijking ten zuiden van de Rijn en het gebied langs het Amsterdam-Rijnkanaal en het Noordzeekanaal, omdat het water hier een kortere weg aflegt en een relatief beperkt aantal tussenliggende (kwetsbare) gebieden schadelijke effecten van het stedelijk water ondervindt (During e.a., 1995).

Het is de vraag of dit criterium voldoende onderscheidend is tussen verstedelijkingsvarianten, omdat het mogelijk is om het stedelijk afvalwater zodanig te zuiveren dat negatieve effecten op waterafhankelijke functies sterk beperkt kunnen worden (Meinardi, pers. meded.). Behalve kunstmatige zuivering door een RWZI is natuurlijke zuivering van licht verontreinigd afvalwater in zuiveringsmoerassen mogelijk (Deelstra, 1994b). Bovendien kan het effluent van een RWZI via pijpleidingen worden getransporteerd naar het meest gewenste lozingspunt (Beugelink, pers. meded.). Wanneer op grote afstand van het hoofdafvoersysteem wordt gebouwd, betekent dit dus niet automatisch dat stedelijk afvalwater een relatief lange weg *door waterwegen* moet afleggen. Het verwijderen van water uit een gebied via pijpleidingen zou echter ongunstig kunnen zijn uit het oogpunt van het behoud

van de zoetwatervoorraad. Omdat geen kwantitatieve gegevens beschikbaar zijn over de effecten van lozing van stedelijk afvalwater is het belang hiervan onduidelijk.

Als laatste locatiecriterium noemen During e.a. (1995): "kies bij voorkeur locaties waar de invloed van verstedelijking minder schadelijk is dan het huidige gebruik". Hierbij kan gedacht worden aan de bloembollenteelt en tuinbouw in de binnenduinrand en op de strandwallen, die vanwege het overvloedige gebruik van meststoffen en bestrijdingsmiddelen een grotere bron van milieubelasting vormen dan stedelijke functies (During e.a., 1995). In paragraaf 6.3 is een vergelijkbare redenering gegeven voor het Groene Hart, waar een drijvende stad mogelijk gunstiger is dan het landbouwkundig gebruik. Toch is een locatie waar geen verdringing van milieubelastende functies plaatsvindt niet altijd ongunstiger dan een locatie waar dit wel plaatsvindt. Er zijn immers soms ook andere functieveranderingen denkbaar waardoor negatieve milieu-effecten kunnen worden verminderd. Bovendien kan vermindering van milieubelasting ook door niet-ruimtelijke maatregelen worden gerealiseerd. Dit locatiecriterium is daarom niet erg geschikt om effecten van verstedelijkingsvarianten systematisch te analyseren. Bij de concrete keuze tussen twee of drie mogelijke locaties zou het, afhankelijk van de lokale situatie, wellicht een rol kunnen spelen.

In tabel 6.4 is nog eens samengevat welke ingrepen als gevolg van verstedelijking in welke gebieden negatieve milieu-effecten kunnen hebben en welke maatregelen genomen kunnen worden om deze effecten tegen te gaan.

Uit het bovenstaande kan worden geconcludeerd dat over de kwantitatieve omvang van de milieu-effecten van verstedelijkingsvarianten als gevolg van lozing van afvalwater en verdringing van milieubelastende functies onzekerheid bestaat. De effecten van drinkwaterwinning lijken niet zo belangrijk voor de vergelijking van verstedelijkingsvarianten. Over de rol van de waterhuishouding voor de inrichting van de stad kunnen nog enkele opmerkingen worden gemaakt. Met name de variant VERDICHTING heeft ook consequenties op inrichtingsniveau.

Voor afwatering en (tijdelijke) berging van het afstromende water is in stedelijk gebied oppervlaktewater nodig. Met name voor het bergen van piekafvoeren van regenwater bij hevige regenval is voldoende open water noodzakelijk (Van Bakel e.a., 1995; Broodbakker e.a., 1995). Volgens Van de Ven (pers. meded.) is een oppervlak van 2 à 3 procent open water vaak al voldoende.

Daarnaast kan open water van belang zijn om in natte perioden water vast te houden om te voorkomen dat in drogere tijden watertekorten optreden (behoud van de zoetwatervoorraad). Hierdoor kan inlaat van gebiedsvreemd water worden tegengegaan. Omdat bij berging in open water (in tegenstelling tot berging in de bodem) veel verdamping optreedt, zijn de mogelijkheden om water vast te houden wel beperkt (Broodbakker e.a., 1995). Volgens De Smit (pers. meded.) kan worden gesteld dat een extreme verdichting ten koste gaat van het oppervlak aan open water en daarom ongunstig is. Met name in gebieden met een hoge grondwaterstand, waar de mogelijkheden om water in de bodem vast te houden beperkt zijn, is ruimte voor open water in de stad een belangrijk aandachtspunt (De Smit, pers. meded.).

Ingreep	Mogelijk milieu-effect	Relevant gebied waar verstedelijking plaatsvindt	Maatregelen om effecten tegen te gaan
Bouwrijp maken	Verdroging/inlaat gebiedsvreemd water Vermesting (in veengebied)	Veengebied Kleigebied Droogmakerij Zandgebied	Zettingsvrije methode (veengebied, kleigebied, droogmakerij) Cunettenmethode (zandgebied) Drijvende wijken (veengebied, droogmakerij)
Ontwatering	Verdroging/inlaat gebiedsvreemd water Vermesting (in veengebied)	Veengebied Kleigebied Droogmakerij Zandgebied	Kruipruimteloos bouwen Drijvende wijken (veengebied, droogmakerij)
Vergroting verhard oppervlak	Verdroging/inlaat gebiedsvreemd water	Infiltratiegebieden (kustgebied, zandgebied)	Doorlatende verhardingsmaterialen Infiltratievoorzieningen Vermindering oppervlak infrastructuur
Grondwaterverontreiniging	Verspreiding van verontreiniging	Invloed van locatie van verstedelijking onduidelijk	Andere bouwmaterialen Oliefilters op parkeerplaatsen
Drinkwaterwinning	Verdroging Milieu-effecten bij zuivering en transport (o.a. energiegebruik, vervuild zuiverings-slib)	Invloed van locatie van verstedelijking beperkt	Afhankelijk van situatie (bv. winning uit oppervlaktewater/regenwater i.p.v. grondwater)
Lozing afvalwater	Vermesting Verspreiding van verontreiniging	Invloed van locatie van verstedelijking onduideijk	Zuivering (kunstmatig/natuurlijk)

Tabel 6.4 Ingrepen door verstedelijking, mogelijke effecten en maatregelen

Verder heeft water in de stad een stabiliserende invloed op het klimaat. Belangrijk in dit verband is de voorraad verdampbaar vocht. Hierbij kan behalve aan open water gedacht

worden aan water dat via verdamping van bomen en planten in de lucht komt. Bomen en planten zijn afhankelijk van een goede waterhuishouding met voldoende grondwater (Zuurdeeg, pers. meded.). Door de grote hoeveelheid steen is een stad enkele graden warmer dan de omgeving en heeft een stad een relatief lage luchtvochtigheid (Ministerie van LNV, 1995a). Open water en groen in de stad zijn van belang om een aangename klimaat met voldoende verkoeling te creëren (Zuurdeeg, pers. meded.). Open water in de stad heeft daarnaast een recreatieve, esthetische, ecologische en economische functie (scheepvaart, beroepsvisserij) (Van Bakel e.a., 1995).

Vanwege het belang van water (in de vorm van open water of groen) voor het behoud van de zoetwatervoorraad en het klimaat in de stad is het concept VERDICHTING negatief te waarderen. In tabel 6.5 is dit weergegeven. Benadrukt moet worden dat mogelijke effecten als gevolg van verontreiniging van het grondwater, lozing van afvalwater en verdringing van milieubelastende functies niet zijn meegenomen, omdat hier geen kwantitatieve gegevens over beschikbaar zijn. De tabel is dan ook wellicht geen volledige beoordeling van alle relevante milieu-effecten.

Op inrichtingsniveau kunnen verder vanuit de waterhuishouding principes worden geformuleerd met betrekking tot de situering van functies. Volgens Reijs e.a. (1996) zouden bijvoorbeeld functies met verenigbare eisen aan de waterhuishouding kunnen worden geconcentreerd in een deelstroomgebied, terwijl onverenigbare functies in een ander deelstroomgebied worden gedacht. Ook kunnen functies met hoge waterkwaliteitseisen en een laag emissieniveau bovenstrooms worden geplaatst ten opzichte van veel watervragende of milieubelastende functies (Reijs e.a., 1996).

Verder kan geconcludeerd worden dat de gewenste bebouwingsdichtheid per gebied kan verschillen. In infiltratiegebieden kunnen hoge dichtheden nadelig zijn vanwege het grote aandeel verhard oppervlak, waardoor verdroging kan optreden. Ook het gewenste oppervlak aan open water is niet overal gelijk. In een veengebied kan bijvoorbeeld een hoger percentage open water gewenst zijn (omdat in de bodem weinig ruimte is om regenwater vast te houden) dan in zandgebieden. Een uniform beleid met betrekking tot bebouwingsdichtheden, zoals het concept van de compacte stad suggereert, is daarom ongewenst.

	RING	SCHUIF	INFRA	DIFFUUS	VERDICHTING
Water in de stad	+	+	+	+	-

Tabel 6.5 *Invloed van verstedelijkingsvarianten op de waterhuishouding (+ = relatief gunstig voor het milieu, - = relatief ongunstig voor het milieu)*

6.5 Bruikbaarheid van het analysekader

De stromenbenadering blijkt voor wat betreft waterstromen enkele aanknopingspunten te bieden voor de analyse van de milieu-effecten van verstedelijkingsvarianten. Een analyse van waterstromen die een gebied in- en uitgaan (de waterbalans) is echter vooral zinvol om kwantitatief te bepalen welke effecten kunnen optreden en welke maatregelen genomen moeten worden om deze effecten te voorkomen. Bij het "sluiten van de kringloop" kan bij

water aan verschillende zaken worden gedacht. In de literatuur worden als mogelijkheden genoemd:

- het maken van een gesloten oppervlaktewatersysteem (Deelstra, 1994b);
- gebruik van regenwater (bijvoorbeeld voor toiletspoeling, wassen van de auto en gebruik in de tuin of - na zuivering - als drinkwater) (Jonkhof, in: Ministerie van VROM, 1993);
- vasthouden van gebiedseigen water, waardoor geen inlaat van gebiedsvreemd vervuild water nodig is (Jonkhof, in: Ministerie van VROM, 1993);
- drinkwaterwinning binnen de eigen regio (Ministerie van LNV, 1995a);
- zuivering van vervuild water binnen de eigen regio (Ministerie van LNV, 1995a);
- hergebruik van water in gebouwen/woningen (Tjallingii, 1992);
- hergebruik van het effluent van een RWZI voor drinkwaterwinning (Tjallingii, 1992).
- hergebruik van het effluent van een RWZI voor infiltratie (Broodbakker e.a., 1995).

Dergelijke principes zijn toegepast in verschillende voorbeeldplannen in het kader van de Vierde Nota, bijvoorbeeld Morra Park in Drachten en het Schoon Water Plan Utrecht (Jonkhof, in: Ministerie van VROM, 1993). In veel gevallen worden daardoor milieuvoordelen behaald.

Ten aanzien van de bruikbaarheid van het kringloopprincipe als concept kan het volgende worden opgemerkt.

Bij het maken van een gesloten oppervlaktewatersysteem, het gebruik van regenwater of gebiedseigen (regen)water is eigenlijk geen sprake van het sluiten van de waterkringloop binnen een gebied, maar van het vervangen van de ene binnenkomende waterstroom door een andere. Water kan niet permanent in een gebied worden vastgehouden, maar maakt uiteindelijk deel uit van de hydrologische kringloop op het hoogste schaalniveau. Niettemin zou het langer vasthouden van gebiedseigen water (behoud van de zoetwatervoorraad) een belangrijk uitgangspunt in de stedenbouw moeten zijn.

Het sluiten van de waterkringloop in de zin van het gebruik maken van drinkwaterbronnen binnen een gebied is niet noodzakelijkerwijs gunstig voor het milieu. Voor het milieu is het in het algemeen niet *primair* van belang of water van binnen of buiten een gebied afkomstig is, maar uit welke bron het water afkomstig is. Verdroging als gevolg van drinkwaterwinning wordt bijvoorbeeld niet veroorzaakt doordat water buiten een gebied wordt gewonnen, maar omdat grondwater wordt gebruikt in plaats van oppervlaktewater. Dit hangt op een andere manier echter wel samen met kringlopen; door winning van grondwater wordt de hydrologische kringloop verstoord, doordat de voorraad sneller wordt uitgeput dan aangevuld. Door over te schakelen op oppervlaktewater kan deze kringloop weer worden gesloten. Ook inlaat van gebiedsvreemd oppervlaktewater is niet schadelijk omdat het water uit een ander gebied komt, maar omdat dit water door een bron met een andere samenstelling wordt gevoed. Het veenweidegebied en de daar aanwezige flora en fauna zijn bijvoorbeeld sterk afhankelijk van regenwater. Inlaat van gebiedsvreemd rivierwater veroorzaakt hier negatieve milieu-effecten omdat het een andere samenstelling heeft. Ook in dit geval lijkt de oplossing voor het probleem niet te zijn om de waterkringloop binnen een gebied te sluiten maar om de ene binnenkomende stroom (gebiedsvreemd water) te vervangen door een andere binnenkomende stroom (regenwater, kwelwater). Waterzuivering in de eigen regio kan positief kan zijn voor het milieu, wanneer hierdoor verspreiding van schadelijke stoffen kan worden voorkomen. Preventie van vervuiling is echter nog beter; wanneer sterk vervuild water moet worden gezuiverd, ontstaat immers vervuild zuiveringslib.

Hergebruik van water (bijvoorbeeld het effluent van een RWZI als drinkwater) lijkt nog de meest juiste betekenis van het begrip kringloop, omdat sprake is van circulatie van een vaste hoeveelheid water. Omdat hierdoor milieu-effecten die optreden bij waterwinning verminderd kunnen worden, is het sluiten van kringlopen in deze betekenis een zinvol normatief uitgangspunt. Omdat echter altijd lekverliezen optreden (door verdamping, gebruik van water in de tuin en dergelijke) kan de kringloop slechts gedeeltelijk worden gesloten, zodat altijd een externe waterbron nodig is. Daarom is het ook van belang om de waterwinning milieuvriendelijk te organiseren. Bij waterwinning spelen kringlopen ook een rol; grondwaterwinning kan er bijvoorbeeld toe leiden dat de hydrologische kringloop wordt verstoord. Het "gesloten laten" van deze natuurlijke kringloop door bijvoorbeeld gebruik te maken van oppervlaktewater betekent echter niet automatisch dat alle milieu-effecten worden vermeden, omdat afwenteling naar andere compartimenten (zuiveringsslib, gebruik chemicaliën) plaatsvindt. Daarom is het kringloopprincipe onvoldoende richtinggevend voor een duurzaam waterbeheer.

Hergebruik van het effluent van een RWZI voor infiltratie (zie ook figuur 6.7) kan een bijdrage leveren aan het langer vasthouden van water in een gebied en het bestrijden van verdroging.

Geconcludeerd kan worden dat het principe "sluiten van kringlopen binnen een gebied" in sommige opzichten een zinvol uitgangspunt is (hergebruik van afvalwater of het effluent van een RWZI/zuivering van water op een laag schaalniveau), maar onvoldoende richtinggevend voor een duurzaam stedelijk waterbeheer. Zo moet ook rekening gehouden worden met de bron waar water van afkomstig is en afwenteling naar andere compartimenten. Daarnaast is het behouden en vergroten van de zoetwatervoorraad een belangrijk aandachtspunt. De mate waarin afvalwater kan worden hergebruikt is niet afhankelijk van de locatie van verstedelijking, zodat het kringloopprincipe niet geschikt is om te bepalen welke verstedelijkingsvariant het meest duurzaam is.

6.6 Conclusie

Verstedelijking kan de waterhuishouding op verschillende manieren negatief beïnvloeden. Ophoging met zand, ontwatering en toename van het verharde oppervlak kunnen leiden tot verdroging en het versneld afvoeren van water, waardoor in droge perioden gebiedsvreemd vervuild water moet worden ingelaten. Deze effecten treden echter niet in alle gebieden op en kunnen worden voorkomen door "waterneutraal" te bouwen. Hierbij kan, afhankelijk van gebiedsspecifieke omstandigheden, gedacht worden aan het gebruik van zettingsvrije methoden van bouwrijp maken, bouwen zonder kruipruimtes, het gebruik van doorlatende wegverharding en het aanleggen van gescheiden rioolstelsels. Wanneer gebouwd wordt op drijvende constructies kan verstedelijking gunstiger zijn dan een landbouwkundige bestemming, omdat in dat geval geen ontwatering nodig is. De kosten van maatregelen om negatieve effecten te voorkomen verschillen per gebied.

Drinkwaterwinning ten behoeve van stedelijke activiteiten kan tot verdroging leiden wanneer drinkwater uit grondwater wordt gewonnen, maar omdat water gemakkelijk kan worden getransporteerd, is deze verdroging niet afhankelijk van de locatie van verstedelijking. Het transport van water kost wel energie, maar de omvang van dit energieverbruik is waarschijnlijk beperkt.

Het belang van lozing van stedelijk afvalwater en verontreiniging van het grondwater door stedelijke activiteiten voor de vergelijking van verstedelijkingsvarianten is onzeker, omdat

kwantitatieve gegevens ontbreken. Verder is het mogelijk dat verstedelijking vanwege de vervanging van functies met een grotere milieubelasting positieve effecten heeft.

In ieder geval speelt de waterhuishouding een rol op het niveau van de inrichting van steden of wijken. Het behouden of vergroten van de zoetwatervoorraad en het niet verstoren van de waterbalans zouden hierbij de uitgangspunten moeten zijn. Een te sterke verdichting kan ten koste gaan van het water dat in de stad - in de vorm van open water of groen - aanwezig is, wat voor het klimaat in de stad en het behoud van de zoetwatervoorraad ongunstig is. Omdat de gewenste bebouwingsdichtheid per gebied verschilt, is een eenzijdig compacte verstedelijking niet gewenst.

Gebleken is dat de stromenbenadering voor de analyse van de milieu-effecten van verstedelijkingsvarianten voor wat betreft waterstromen enige aanknopingspunten biedt, hoewel over bepaalde effecten op de waterhuishouding onzekerheden bestaan. Het sluiten van kringlopen in de zin van hergebruik van afvalwater is weliswaar een zinvol uitgangspunt, maar niet afhankelijk van de locatie van verstedelijking. Bovendien wordt de "duurzaamheid" van het waterbeheer door meer factoren bepaald dan de mate waarin kringlopen zijn gesloten. Het kringloopprincipe is dan ook geen bruikbaar uitgangspunt om te bepalen welke verstedelijkingsvariant voor de waterhuishouding het meest duurzaam is.

7. VERSTEDELIJKINGSVARIANTEN EN ENERGIE, AFVAL EN GRONDSTOFFEN

7.1 Inleiding

In dit hoofdstuk zal achtereenvolgens de invloed van verstedelijkingsvarianten op energie, afval en grondstoffen worden behandeld. Het verbruik van energie in het verkeer wordt hierbij niet betrokken, omdat de relatie tussen verstedelijking en verkeer reeds in hoofdstuk 5 aan de orde is geweest.

7.2 Energie

Bij het energiegebruik in woningen en gebouwen kan een onderscheid gemaakt worden tussen de behoefte aan *warmte* voor verwarming van ruimtes en tapwater enerzijds en *electriciteit* voor het gebruik van allerlei apparaten en verlichting anderzijds. Zowel voor warmte als voor electriciteit bestaan technieken die er op gericht zijn negatieve milieu-effecten te verminderen. Bij warmte zijn met name stadsverwarming en kleinschalige warmtekrachtkoppeling van belang. Zonne-energie kan, afhankelijk van het type, zowel op electriciteit als op warmte gericht zijn. In tabel 7.1 is aangegeven welke technieken betrekking hebben op warmte en welke op electriciteit. Hieronder zullen deze technieken nader worden toegelicht.

	Warmte	Electriciteit
Stadsverwarming	X	
Kleinschalige warmtekrachtkoppeling	X	
Passieve zonne-energie	X	X
Thermische zonne-energie	X	
Fotovoltaïsche zonne-energie		X

Tabel 7.1 Milieuvriendelijke methoden van energieopwekking voor warmte en electriciteit

Stadsverwarming en kleinschalige warmtekrachtkoppeling

Voor de analyse van de effecten van verstedelijkingsvarianten op het energieverbruik zijn de mogelijkheden voor stadsverwarming en kleinschalige warmtekrachtkoppeling een belangrijk aspect. *Stadsverwarming* is een techniek waarbij voor ruimteverwarming en warm tapwater in gebouwen gebruik wordt gemaakt van de vrijkomende warmte in nabijgelegen electriciteitscentrales, afvalverbrandingsinstallaties of grote industrieën. Op dit moment wordt vooral gebruik gemaakt van electriciteitscentrales (Verlinden, pers. meded.). Bij *kleinschalige warmtekrachtkoppeling* wordt gebruik gemaakt van kleinere warmtekrachtinstallaties (gasmotoren) die in de wijk staan. In een dergelijke gasmotor wordt

tegelijkertijd electriciteit en warmte opgewekt (Delemarre, 1994). Beide technieken zijn vormen van warmtekrachtkoppeling en verschillen van de conventionele manier van verwarming omdat geen gas wordt geleverd (voor gebruik in een CV-ketel), maar warmte. Daarom wordt ook wel gesproken van *warmtelevering* (De Vos, 1995).

Door toepassing van warmtelevering kan het energieverbruik en de emissie van CO₂ fors worden verminderd ten opzichte van traditionele gasvoorziening. Het Centrum voor Energiebesparing en Schone Technologie heeft de te verwachten energiebesparing door *stadsverwarming* onderzocht voor de VINEX-locatie in het gebied tussen Heerhugowaard, Alkmaar en Langedijk (het HAL-gebied), waar zo'n tienduizend woningen worden gebouwd. Uit dit onderzoek blijkt dat wanneer bij alle woningen in het HAL-gebied stadsverwarming wordt toegepast een reductie van de CO₂-emissie met 50 procent kan worden bereikt ten opzichte van conventionele gasvoorziening (De Vos, 1995). Het rendement van *kleinschalige warmtekrachtkoppeling* is iets lager, namelijk ongeveer 40 procent (Verlinden, pers. meded.). Ook uit een onderzoek van Bresser en Van der Veen (1991) blijkt dat stadsverwarming, althans bij toepassing op woningen, meer energiebesparing oplevert dan kleinschalige warmtekrachtkoppeling. In deze studie, waarin uitgegaan wordt van een modelmatige nieuwbouwwijk, worden echter andere reductiepercentages genoemd, namelijk 70 resp. 55 procent (Bresser en Van der Veen, 1991). Volgens Hoving en Vriend (1994) is het energiebesparingspotentieel van kleinschalige warmtekrachtkoppeling bij toepassing in de industrie, tuinbouw en ziekenhuizen juist groter dan dat van stadsverwarming. Een nadeel van kleinschalige warmtekrachtkoppeling is echter de hogere uitstoot van verzurende emissies (NO_x en SO₂) van de gasmotoren (Hoving en Vriend, 1994).

Toepassing van stadsverwarming geeft niet alleen direct een aanzienlijke energiebesparing, maar is ook op lange termijn gunstig omdat emissies van de warmteleverende electriciteitscentrales door technische maatregelen verder beperkt kunnen worden, terwijl de mogelijkheden om de emissies van CV-ketels - die bij traditionele gasvoorziening worden gebruikt - te verminderen, beperkt zijn (Verlinden, pers. meded.).

Verstedelijkingsvarianten kunnen om verschillende redenen de mogelijkheden voor stadsverwarming en/of kleinschalige warmtekrachtkoppeling beïnvloeden.

Ten eerste dient, althans bij *stadsverwarming*, de afstand tussen de bouwlocaties en de warmteleverende bron niet te groot te zijn, omdat anders de aanlegkosten en de transportverliezen te groot worden (Spakman, 1995; Deelstra, 1994a). Deze bronnen van warmte zijn tot nu toe vooral de zogenaamde WK-STEG-centrales (SToom En Gas-centrales; de toevoeging WK is een afkorting van warmte-kracht). Bij grotere WK-STEG-centrales met een vermogen van 250 Megawatt bedraagt de maximale afstand 20 kilometer, bij kleinere centrales (60 Megawatt) vijf kilometer. Bij het gebruik van *kleinschalige warmtekrachtkoppeling* speelt de afstand tot electriciteitscentrales geen rol (Verlinden, pers. meded.). Warmtelevering is niet alleen mogelijk door een nieuwe stad in de nabijheid van een warmtebron te situeren, maar ook door te bouwen tegen bestaande steden die zijn aangesloten op een warmtenet. In de Randstad gaat het daarbij om Almere, Purmerend, Leiden, Diemen, Den Haag, Rotterdam en Utrecht (SEP, 1996). Dit laatste zou dus een argument kunnen zijn voor het compacte stad-beleid, waarbij gebouwd wordt aan de rand van bestaande steden.

Ten tweede zijn voor toepassing van stadsverwarming en kleinschalige warmtekrachtkoppeling netto bebouwingsdichtheden tussen de 30 tot 45 woningen per hectare vereist en zijn beide vormen van warmtelevering het meest efficiënt bij gestapelde bouw. Ook dit houdt verband met de noodzaak om warmteverliezen en kosten te beperken (Deelstra,

1994a). Omdat het distributienet voor warmtelevering duurder is dan dat voor gaslevering neemt de rentabiliteit sterk af bij lagere dichtheden (Verlinden, pers. meded.).

Tenslotte is voor rendabele toepassing van warmtelevering een minimaal aantal woningen nodig. Voor *stadsverwarming* is deze minimale omvang bij het gebruik van kleine elektriciteitscentrales ongeveer 10.000 woningen en bij grote centrales ongeveer 40.000 woningen (Verlinden, pers. meded.). Voor *kleinschalige warmtekrachtkoppeling* geldt een ondergrens van ongeveer 300 woningen (Delemarre, 1994).

Over de rol en de mogelijkheden van warmtelevering in de energievoorziening vindt overigens discussie plaats. De electriciteitssector heeft bezwaar tegen met name kleinschalige warmtekrachtkoppeling, omdat hierdoor op decentraal niveau extra electriciteit wordt opgewekt, terwijl er een overcapaciteit bestaat. Grootschalige toepassing van kleinschalige warmtekrachtkoppeling kan daarom de lange-termijnplanning van de electriciteitslevering compliceren. Bij de keuze tussen stadsverwarming, kleinschalige warmtekrachtkoppeling of traditionele gasvoorziening kunnen belangentegenstellingen tussen leveranciers van gas en electriciteit een belangrijke rol spelen (Spakman, 1995).

Zonne-energie

Er wordt onderscheid gemaakt tussen passieve zonne-energie, thermische zonne-energie en fotovoltaïsche zonne-energie. *Passieve zonne-energie* is de benutting van invallend zonlicht en het vasthouden van zonnewarmte. Door bijvoorbeeld woningen goed te isoleren en grote ramen op het zuiden en kleine op het noorden aan te brengen, is een jaarlijkse besparing mogelijk van 50 tot 150 m³ aardgas per woning voor verwarming. Ook is minder electriciteit voor verlichting nodig. Onder *thermische zonne-energie* wordt het gebruik van zonlicht voor het verwarmen van tapwater verstaan. Hierbij wordt gebruik gemaakt van zogenaamde zonneboilers. Een zonneboiler kan ongeveer in de helft van de energiebehoefte voor warm-tapwaterbereiding voorzien. Dat betekent per woning een besparing van ongeveer 150 m³ aardgas per jaar. Sinds kort zijn er systemen op de markt die ook een deel van de warmte voor de centrale verwarming leveren. Bij *fotovoltaïsche zonne-energie* wordt zonlicht door zonnecellen omgezet in electriciteit. Om de electriciteitsbehoefte van een woning te dekken is in Nederland een oppervlak van 25 m² nodig (Juijn, 1994).

Volgens Juijn (1994) wordt verwacht dat fotovoltaïsche zonne-energie na 2010 een wezenlijke bijdrage aan de landelijke energievoorziening gaat leveren. Uit onderzoek van het Centrum voor Energiebesparing en Schone Technologie blijkt dat in een optimistisch scenario door verhoging van de efficiency van zonnecellen in 2010 in principe ongeveer de gehele electriciteitsbehoefte van Nederland door fotovoltaïsche zonne-energie kan worden gedekt (Centrum voor Energiebesparing en Schone Technologie, 1995).

Volgens Breheny (1992) is het compacte stad-beleid ongunstig voor de mogelijkheden om gebruik te maken van vernieuwbare energiebronnen, omdat met name toepassing van zonne-energie en windenergie veel ruimte in de stad zouden vergen. In de praktijk hoeft toepassing van zonne-energie echter niet gepaard te gaan met lage bebouwingsdichtheden, omdat zonneboilers (thermische zonne-energie) of zonne-cellen (fotovoltaïsche zonne-energie) op daken geplaatst kunnen worden. Ook wanneer in de toekomst in nieuwe woonwijken de *gehele* electriciteitsbehoefte door fotovoltaïsche zonne-energie zou kunnen worden gedekt, is het niet nodig om in een stad zelf extra ruimte voor zonne-cellen te reserveren, omdat electriciteit gemakkelijk kan worden getransporteerd. Voor thermische zonne-energie geldt dit overigens niet; bij zonneboilers is het wel noodzakelijk dat ze op woningen en gebouwen worden geplaatst (Juijn, 1994a; Verlinden, pers. meded.).

Een te sterke concentratie van bebouwing, waarbij hoogbouw wordt toegepast (concept VERDICHTING) is ongunstig voor de mogelijkheden van passieve zonne-energie en thermische zonne-energie, omdat het dakoppervlak per woning kleiner is. Laagbouw is daarom geschikter voor toepassing van zonne-energie dan hoogbouw (Deelstra, 1994a; Owens, 1986). Overigens stelt toepassing van zonne-energie nog andere eisen aan de inrichting van woonwijken. De oriëntatie van het dak- en raamoppervlak van woningen is van groot belang; in Nederland is de beste oriëntatie naar het zuiden of het zuidoosten (Deelstra, 1994b). Verder moet rekening worden gehouden met mogelijke schaduwwerking door hoogteverschillen tussen gebouwen (Bergsma, pers. meded.).

Warmteverlies van gebouwen

Door het warmteverlies van gebouwen aan de buitenlucht te beperken, kan bespaard worden op de benodigde energie voor ruimteverwarming. Dit is mogelijk door het aaneenbouwen van woningen ("compact bouwen"). Hierdoor blijft het buitenoppervlak beperkt, waardoor minder wind wordt gevangen (Deelstra, 1994a). Volgens De Jong en Visser (1988) kan door compact bouwen ongeveer 400 kWh per woning per jaar worden bespaard vanwege de beperking van de invloed van de wind. In vergelijking met andere windwerende maatregelen is deze besparing echter beperkt te noemen. Het werkelijke effect is bovendien afhankelijk van het gedrag van bewoners met betrekking tot het openen van ramen (De Jong en Visser, 1988).

Te hoge bebouwingsdichtheden zijn echter ongunstig voor het warmteverlies, wanneer sprake is van hoogbouw. Bij hoogbouw is het buitenoppervlak relatief groot (Burchell and Listokin, 1982). Aan de andere kant is het buitenoppervlak per woning bij rijtjeshuizen nog hoger dan bij flats. Wellicht is daarom gestapelde bouw het meest gunstig om het warmteverlies te beperken.

Infrastructuur

Door te bouwen in hoge dichtheden is minder energie nodig voor de bouw van huizen, utiliteitsnetwerken en aanleg van wegen. Door verkorting van de lengte van wegen en leidingen en door aaneengesloten bouwen kan bespaard worden op het energieverbruik tijdens winning, transport en bewerking van de benodigde grondstoffen en materialen (Matton, 1992; Burchell and Listokin, 1982). Het concept DIFFUUS zou in dit opzicht het meest ongunstig zijn en het concept VERDICHTING het gunstigst. Dit aspect lijkt echter minder zwaarwegend, omdat het hierbij gaat om energieverbruik met een eenmalig karakter.

In tabel 7.2 is samengevat op welke indicatoren de verstedelijkingsvarianten beoordeeld kunnen worden voor wat betreft de mogelijkheden voor energiebesparing. Voor stadsverwarming en kleinschalige warmtekrachtkoppeling geldt dat aan alle eisen *tegelijktijd* voldaan moet worden, wil rendabele toepassing mogelijk zijn. De meeste indicatoren kunnen worden toegepast op de in hoofdstuk 3 behandelde verstedelijkingsvarianten. In tabel 7.3 is per verstedelijkingsvariant aangegeven wat de mogelijkheden zijn voor energiebesparing.

	Indicator
Stadsverwarming	<p><i>Bij WK-STEg-centrale 250 Megawatt:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Afstand tot bestaande of nieuw te bouwen centrale (<20 km) - Bebouwingsdichtheid (minstens 30-45 woningen/ha) - Aantal woningen (minimaal ca. 40.000) <p><i>Bij WK-STEg-centrale 60 Megawatt:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Afstand tot bestaande of nieuw te bouwen centrale (< 5 km) - Bebouwingsdichtheid minstens 30-45 woningen/ha - Aantal woningen (minimaal ca. 10.000)
Kleinschalige WKK	<ul style="list-style-type: none"> - Bebouwingsdichtheid (minstens 30-45 woningen/ha) - Aantal woningen (minimaal ca. 300)
Passieve en thermische zonne-energie	<ul style="list-style-type: none"> - Dakoppervlak per woning (hoogbouw/laagbouw) - Zuidoriëntatie dakoppervlak - Zuidoriëntatie raamoppervlak
Warmteverlies	<ul style="list-style-type: none"> - Buitenoppervlak gebouwen

Tabel 7.2 Indicatoren voor de analyse van de mogelijkheden voor energiebesparing

	RING	SCHUIF	INFRA	DIFFUUS	VERDICHTING
Stadsverwarming	+	+	+	-	+/-
Kleinschalige warmtekrachtkoppeling	+	+	+	-	+/-
Passieve en thermische zonne-energie	+	+	+	+	-
Fotovoltaïsche zonne-energie	+	+	+	+	+
Warmteverlies	+/-	+/-	+/-	-	+/-

Tabel 7.3 Invloed van verstedelijkingsvarianten op de mogelijkheden voor energiebesparing (+ = toepassing mogelijk/gunstig effect op het energieverbruik, - = toepassing niet of in mindere mate mogelijk/ongunstig effect op het energieverbruik)

Uit tabel 7.3 blijkt dat toepassing van *stadsverwarming* in de concepten RING, INFRA en SCHUIF over het algemeen mogelijk is. De dichtheden zijn hoog genoeg (30 woningen per hectare) en het minimale aantal woningen (10.000 of 40.000) wordt op veel locaties gehaald, omdat deze aansluiten op bestaand stedelijk gebied of in voldoende mate zijn gebundeld. Door de nabijheid van bestaande steden zal een deel van de locaties in deze varianten gebruik kunnen maken van bestaande warmtenetten. Voor andere locaties geldt dit niet. Er is echter vanuit gegaan dat dit niet problematisch is, omdat in de periode na 2005 nieuwe centrales gebouwd moeten worden, die in de nabijheid van de nieuwe locaties gepland kunnen worden (Verlinden, pers. meded.). Bovendien is het mogelijk dat in de toekomst ook gebruik wordt gemaakt van afvalverbrandingsinstallaties voor stadsverwarming. Deze redenering is echter voor discussie vatbaar. Wanneer van een meer "voorzichtige" benadering zou worden uitgegaan, is de locatie van de huidige electriciteitscentrales van groter belang. Wanneer electriciteitscentrales niet nabij de nieuwe locaties worden geplaatst of er minder centrales worden gebouwd dan verwacht, kunnen er in werkelijkheid toch verschillen tussen de varianten RING, SCHUIF en INFRA optreden.

Stadsverwarming is in het concept DIFFUUS niet mogelijk, omdat de bebouwingsdichtheden te laag zijn (zie hoofdstuk 3) en het aantal woningen per locatie te gering. Bij het concept VERDICHTING kan er vanuit gegaan worden dat stadsverwarming in sommige gevallen wel en in andere gevallen niet mogelijk is. In dit concept is verondersteld, dat wanneer bouwen in de stad onmogelijk is, aan de rand van de stad gebouwd wordt in hoge dichtheden. Deze woningen aan de rand van de stad zullen in veel gevallen op bestaande warmtenetten kunnen worden aangesloten. Het is echter de vraag of het aanleggen van nieuwe leidingen in bestaand stedelijk gebied in alle gevallen haalbaar is; dit kan aanzienlijke kosten met zich meebrengen (Verlinden, pers. meded.). Uit een onderzoek van Rooijers e.a. (1993) naar de mogelijkheden voor warmtelevering in bestaand stedelijk gebied blijkt dat de rentabiliteit per wijk verschilt. Ook om deze reden kan een deel van de woningen in het concept VERDICHTING daarom niet aangesloten worden op stadsverwarming of kleinschalige warmtekrachtkoppeling.

De mogelijkheden voor *kleinschalige warmtekrachtkoppeling* zijn in hoofdlijnen hetzelfde als voor stadsverwarming. Omdat elke locatie in alle concepten 2.000 woningen bevat, wordt ook hier het minimale aantal woningen (300) in alle gevallen gehaald. Ook hier zijn in het concept DIFFUUS echter de dichtheden te laag en kan aanleg van warmtenetten in bestaand stedelijk gebied (VERDICHTING) problematisch zijn. Wellicht zijn in het concept VERDICHTING de mogelijkheden voor kleinschalige warmtekrachtkoppeling (in ieder geval op korte termijn) toch iets gunstiger dan voor stadsverwarming, omdat afstand tot electriciteitscentrales hier geen rol speelt (Verlinden, pers. meded.). Deze nuance is in de tabel niet aangegeven.

De mogelijkheden voor het gebruik van *passieve en thermische zonne-energie* zijn in het concept VERDICHTING minder goed dan in de andere concepten, omdat verondersteld is dat in dit concept relatief veel hoogbouw plaatsvindt. Het dakoppervlak is dus relatief gering, terwijl voorzieningen voor passieve en thermische zonne-energie noodzakelijkerwijs op daken geplaatst moeten worden. Omdat met betrekking tot de zuidoriëntatie van daken en ramen geen veronderstellingen zijn gedaan kunnen de scores slechts als indicatie worden opgevat. In werkelijkheid kunnen tussen de concepten RING, INFRA, SCHUIF en DIFFUUS verschillen optreden als gevolg van verschillen in stedenbouwkundige inrichting.

Toepassing van *fotovoltaïsche zonne-energie* is, in ieder geval op termijn, in alle concepten mogelijk. Ook bij hoogbouw (concept VERDICHTING) kan deze vorm van zonne-energie

worden toegepast, omdat zonne-cellen ook buiten de stad geplaatst kunnen worden. Dit betekent wel dat de beperking van het ruimtebeslag door verdichting in verband met de extra benodigde ruimte voor zonnecellen buiten de stad (deels) weer teniet wordt gedaan. Het *warmteverlies* van gebouwen is in het concept DIFFUUS het hoogst vanwege het grote aantal vrijstaande woningen. Omdat voor de overige concepten weinig specifieke veronderstellingen zijn gedaan ten aanzien van het type woningen kan weinig gezegd worden over onderlinge verschillen. Het concept VERDICHTING zou eventueel negatief kunnen uitpakken in verband met het hoge aandeel hoogbouw.

Over het algemeen zijn de concepten DIFFUUS en VERDICHTING minder gunstig voor de mogelijkheden van een meer milieuvriendelijk energiegebruik dan de overige concepten. Het concept VERDICHTING is in ieder geval op korte termijn gunstiger dan DIFFUUS, vanwege de betere condities voor stadsverwarming of kleinschalige warmtekrachtkoppeling. Het is echter denkbaar dat de mogelijkheden voor stadsverwarming in de toekomst minder zwaar wegen wanneer grootschalige toepassing van fotovoltaïsche zonne-energie rendabel wordt. In dat geval zou het concept DIFFUUS niet ongunstiger zijn dan de andere concepten. In de toekomst zou energie daarom geen differentiërende factor meer kunnen zijn tussen verstedelijkingsvarianten. Volgens Bergsma (pers. meded.) is het echter ook voor de periode 2005-2015 nog van belang om bij verstedelijking stadsverwarming toe te passen. Verwacht wordt dat fotovoltaïsche zonne-energie in de periode tussen 2010 en 2050 zo rendabel wordt dat het grootschalig kan worden toegepast voor *electriciteit*. Pas in de tweede helft van de volgende eeuw zou het echter met aardgas kunnen concurreren en dus ook op grote schaal voor *warmte* worden gebruikt. Voor de warmtebehoefte kan tot die tijd gebruik gemaakt worden van stadsverwarming (Bergsma, pers. meded.).

Windenergie en getijde-energie

Toepassing van wind-energie stelt geen eisen aan de locatie van verstedelijking. Voor plaatsing van windturbines geldt weliswaar dat locaties bij de kust of langs het IJsselmeer het meest gunstig zijn, maar omdat windturbines electriciteit leveren aan het openbare net, is het niet nodig om nieuwbouw in de nabijheid van deze windturbines te plaatsen. Ook voor een mogelijke toepassing van getijde-energie in de toekomst is de locatie van verstedelijking niet van belang. Bij getijde-energie wordt de eb- en vloedbeweging van de zee omgezet in electriciteit, die gemakkelijk over grote afstanden getransporteerd kan worden. De mogelijkheden voor getijde-energie zijn echter nog beperkt (Bergsma, pers. meded.).

Bruikbaarheid van het analysekader

Energiestromen die de stad in- en uitgaan zijn van belang voor de analyse van milieueffecten van verstedelijkingsvarianten. Voor energie is de stromenbenadering daarom bruikbaar. Niet alleen de *hoeveelheid* energie die de stad ingaat, speelt een rol maar ook de wijze waarop de energie wordt opgewerkt. Net als bij waterstromen is het van belang welke natuurlijke voorraad als gevolg van winning of gebruik (in welke mate) wordt aangetast.

Met betrekking tot het "sluiten van kringlopen" kan het volgende worden opgemerkt. Toepassing van stadsverwarming of kleinschalige warmtekrachtkoppeling is te beschouwen als een manier waarop de "energiekringloop" gedeeltelijk wordt gesloten, omdat energie in de vorm van warmte voor een deel "hergebruikt" wordt. Omdat deze technieken enkel gericht zijn op warmte en niet op electriciteit en omdat de electriciteitscentrales die gebruikt worden voorlopig nog op fossiele brandstoffen werken, leidt dit nog niet direct tot

een werkelijk duurzame energievoorziening. Het kringloopprincipe kan in relatie tot energie ook worden opgevat als het gebruik maken van energiebronnen die in een gebied zelf aanwezig zijn. Van primair belang is echter niet of energie binnen of buiten een gebied wordt opgewekt, maar of gebruik wordt gemaakt van vernieuwbare of niet-vernieuwbare energiedragers. Bepaalde vormen van duurzame energie kunnen op grote afstand van de gebruikers worden opgewekt; in principe kan fotovoltaïsche zonne-energie in de Sahara worden opgewekt en naar de Randstad worden getransporteerd. Vanwege verschillen in zonneshijn is voor fotovoltaïsche zonne-energie uitwisseling tussen gebieden juist heel belangrijk.

Het overschakelen op vernieuwbare energiedragers hangt op een andere manier wel samen met kringlopen. Men kan stellen dat door winning en gebruik van fossiele brandstoffen de natuurlijke *koolstof*-kringloop wordt verstoord; het tempo van de "natuurlijke" uitwisseling van koolstof tussen bodem, lucht en water wordt veranderd. Enerzijds worden fossiele brandstoffen sneller uitgeput dan vernieuwd en anderzijds wordt meer CO₂ in de atmosfeer gebracht dan kan worden geabsorbeerd (het broeikas-effect). Met name dit laatste maakt het gebruik van fossiele brandstoffen vanuit milieu-oogpunt problematisch. Het sluiten van de koolstof-kringloop komt dus op hetzelfde neer als het overschakelen op vernieuwbare energiedragers.

Hoewel het kringloopprincipe in sommige opzichten voor energie lijkt op te gaan, is het niet geschikt om verstedelijkingsvarianten te vergelijken. De gedachte achter het "ecodivide-model" (meer vasthouden, meer tegenhouden; zie hoofdstuk 2) is te beperkt, omdat hierbij de wijze waarop energie wordt opgewekt buiten beschouwing wordt gelaten.

7.3 Afval

Afval kan in een groot aantal categorieën worden verdeeld. Als meest omvangrijke categorieën kunnen worden genoemd huishoudelijk afval, fosforzuurgips en overig industrieel afval, kantoor-, winkel- en dienstenaafval, bouw- en sloopafval, verontreinigde grond en zuiveringsslib van rioolwaterzuiveringsinstallaties (RIVM, 1995). Voor bijna alle categorieën geldt dat de omvang van de afvalstroom niet beïnvloed wordt door de keuze voor een bepaalde verstedelijkingsvariant. De categorie bouw- en sloopafval vormt hier een uitzondering op (Nagelhout, pers. meded.). Het bouw- en sloopafval maakte in 1994 24 procent van de totale hoeveelheid afval in Nederland uit. Omdat een groot deel hiervan echter wordt hergebruikt is het aandeel in de hoeveelheid afval voor eindverwijdering kleiner, namelijk 9 procent (RIVM, 1995). De productie van bouw- en sloopafval is afhankelijk van het type bebouwing. Gestandaardiseerde bouw levert minder bouw- en sloopafval op dan het bouwen van veel verschillende soorten woningen. Daarom brengt hoogbouw minder bouw- en sloopafval met zich mee dan laagbouw en is aaneengesloten bouwen gunstiger dan het bouwen van vrijstaande woningen. Ook in dit opzicht lijkt het concept VERDICHTING, vanwege het grote aandeel hoogbouw en aaneengebouwde woningen, minder schadelijk dan een model met veel losstaande en verschillende huizen (DIFFUUS). Het is niet mogelijk om op basis van statistisch materiaal exact de maximaal denkbare verschillen tussen verstedelijkingsvarianten aan te geven (Nagelhout, pers. meded.). Met betrekking tot het voorgaande kan de volgende kanttekening worden gemaakt. Voor de omvang van stromen van bouw- en sloopafval is de levensduur van gebouwen van groot belang. Volgens De Jong (1996) kan de stedenbouw een grote bijdrage leveren aan het milieu door gebouwen te ontwerpen met een hoge architectonische kwaliteit, omdat deze

gebouwen langer blijven staan. Alle milieu-effecten die door bouwen of slopen ontstaan worden door de levensduur van gebouwen beïnvloed. Het is de vraag in hoeverre deze architectonische kwaliteit gerealiseerd kan worden in het concept VERDICHTING. Omdat bovendien in de praktijk rekening gehouden zal moeten worden met verschillen in woonwensen en inkomens tussen de bewoners, hoeven de verschillen tussen de varianten niet groot te zijn.

Het "sluiten van kringlopen" houdt bij afvalstromen in dat afval hergebruikt wordt als grondstof of voor opwekking van energie. Volgens Tjallingii (1992) is het ongewenst om al het afval in grote centrale installaties te verwerken. Om de motivatie van mensen ("participanten", zie hoofdstuk 2) voor gescheiden inzameling, hergebruik en preventie te vergroten zouden sommige afvalkringen op een lager schaalniveau moeten worden gesloten. Een voordeel van afvalverwerking dicht bij de stad zou kunnen zijn dat decentrale afvalverwerking minder verkeer met zich meebrengt (Schuur, in: Ministerie van VROM, 1993) of dat stadsverwarming mogelijk is (zie paragraaf 7.2). Volgens Schuur (in: Ministerie van VROM, 1993) kunnen afval-grondstofkringen gesloten worden door voor verschillende soorten afval op verschillende schaalniveaus (straatniveau, wijkniveau en stads(deel)niveau) voorzieningen te creëren voor gescheiden inzameling en hergebruik. Er zijn mogelijkheden om stedelijk afval te gebruiken in de landbouw. Hierbij kan gedacht worden aan het gebruik van GFT-afval als compost of gebruik van afval uit de voedingsmiddelenindustrie als veevoer. In biogasinstallaties kan energie uit afval worden opgewekt (Ministerie van LNV, 1995b).

De genoemde mogelijkheden voor het sluiten van afval-grondstofkringen lijken niet te worden beïnvloed door de keuze voor een bepaalde verstedelijkingsvariant. Volgens Matton (1992) is geconcentreerde verstedelijking gunstig voor het scheiden van afval, omdat het daardoor beter mogelijk zou zijn om in een vroeg stadium de afvalfracties te scheiden. Een onderbouwing voor deze stelling ontbreekt echter.

Overigens is afvalverwerking op een zo laag mogelijk schaalniveau niet per definitie gunstig voor het milieu. Door centralisatie en schaalvergroting van de afvalverwerking is het juist mogelijk geworden om te voldoen aan strengere milieu-eisen (Nagelhout, pers. meded.). Bovendien is het de vraag in hoeverre de motivatie van mensen voor milieuvriendelijk gedrag werkelijk beïnvloed wordt door de locatie van afvalverwerking.

Geconcludeerd kan worden dat de verschillen tussen de verstedelijkingsvarianten wat betreft de afvalproductie niet groot zijn. Afval speelt geen belangrijke rol bij de vergelijking van verstedelijkingsvarianten op het schaalniveau van de Stedenring Centraal Nederland. De mogelijkheden voor het sluiten van kringlopen lijken bij afvalstromen niet afhankelijk te zijn van de locatie van verstedelijking.

7.4 Grondstoffen

Bij de invloed van verstedelijkingsvarianten op het gebruik van grondstoffen kan gedacht worden aan het gebruik van oppervlakedelfstoffen (grind, zand, kalksteen) in de bouw en bij de aanleg van infrastructuur. Verwacht mag worden dat het concept DIFFUUS in dit opzicht ongunstig is, omdat de lengte aan nieuw aan te leggen infrastructuur het grootst is. Bovendien zijn voor de bouw van de vrijstaande woningen die in dit concept dominant zijn waarschijnlijk meer grondstoffen nodig. Het concept VERDICHTING scoort op deze punten het meest positief. Bedacht moet echter worden dat het verbruik van grondstoffen op zichzelf niets zegt over milieu-effecten (zie hoofdstuk 4). Bij de winning van oppervlak-

tedelfstoffen zijn vooral effecten op het landschap en het ruimtebeslag van belang. Het is de vraag in hoeverre verschillen tussen de varianten zodanig zijn dat de effecten merkbaar zijn op het landschap. Wanneer in de toekomst oppervlaktedelfstoffen vervangen kunnen worden door bulkafvalstoffen zoals bouw- en sloopafval (Annema e.a., 1993), kunnen mogelijke effecten wellicht worden voorkomen. Behalve de bouw van woningen en de aanleg van infrastructuur is ook het bouwrijp maken van terreinen van belang, omdat hierbij vaak zand wordt gebruikt voor ophoging. Het gebruik van zand kan echter worden beperkt door een zettingsvrije methode van bouwrijp maken toe te passen (zie hoofdstuk 6).

Het kringloopprincipe in de zin van het gebruik maken van gebiedseigen grondstoffen is in het bovenstaande al aan de orde gekomen. In het kader van het "duurzaam bouwen" wordt daarnaast vaak gewezen op de noodzaak om ophoogzand te winnen in het gebied waar verstedelijking plaatsvindt. Op een zo laag mogelijk schaalniveau zou een gesloten grondbalans moeten worden nagestreefd (Ministerie van LNV, 1995a; Deelstra, 1994b). Hoewel in verband met verstoring van de bodemopbouw en beperking van het transport winning van zand in de nabijheid van nieuwe locaties gunstig kan zijn, lijkt het voor de locatiekeuze van verstedelijking niet zwaarwegend. In gebieden waar weinig ophoogzand beschikbaar is, kan gebruik worden gemaakt van een zettingsvrije methode van bouwrijp maken, waarbij minder of geen zand wordt gebruikt. Dit zijn ook de gebieden (veengebieden, kleigebieden) waar dergelijke methodes voor de waterhuishouding de voorkeur verdienen. Het sluiten van kringlopen kan in relatie tot grondstoffen ook anders worden uitgelegd, namelijk dat materialen zoveel mogelijk moeten circuleren in de economie en dat afval wordt gebruikt als grondstof. In feite is dit de meest gangbare betekenis van het begrip kringloop in relatie tot de milieuproblematiek. Het gaat hierbij om afzonderlijke stofstromen die als grondstof dienen, zoals cadmium, kwik en koper. In het Nationaal Milieubeleidsplan 2 (NMP) wordt het sluiten van *stofkringlopen* als één van de uitgangspunten genoemd, waarmee wordt bedoeld dat in de keten van grondstof via productieproces tot produkt naar afval zo min mogelijk "lekken" zijn, die milieuvervuiling veroorzaken (Groen, 1989). Dit wordt ook wel ketenbeheer genoemd (RIVM, 1993). Op het schaalniveau van Nederland zijn door het RIVM zogenaamde stofstroomanalyses of stofbalansen (voor o.a. kwik, zink, stikstof, fosfor) opgesteld, waarbij in- en uitgaande stofstromen en de mate van accumulatie in het milieu zijn geanalyseerd (RIVM, 1991). Het is mogelijk dat dergelijke analyses op lagere schaalniveaus (bijvoorbeeld op het niveau van een stad of stadsgewest) ook zinvol zijn; ook kringlopen van stofstromen zouden daarom wellicht op verschillende schaalniveaus gesloten kunnen worden. In dit verband kan gewezen worden op een publicatie van Van den Bergh en Nijkamp (1991), waarin uiteengezet wordt hoe duurzame ontwikkeling op regionaal niveau geoperationaliseerd zou kunnen worden. Regionale duurzame ontwikkeling wordt door hen omschreven als een ontwikkeling waarbij voor de bevolking van de regio een acceptabel welvaartsniveau is gegarandeerd, zonder dat daarbij conflicten ontstaan met duurzame ontwikkeling op een hoger schaalniveau. Hierbij is het van belang om te kijken naar de interacties tussen regio's. Om regionale duurzame ontwikkeling te bereiken zou men kunnen streven naar minimalisering van in- en uitgaande stromen. Stromen die een regio in- en uitgaan hoeven echter niet altijd schadelijk te zijn wanneer ze op interregionaal niveau een gesloten kringloop vormen (Van den Bergh en Nijkamp, 1991). Dit duidt erop dat het sluiten van kringlopen wellicht (voor bepaalde stofstromen) aan een schaalniveau of een gebied gekoppeld zou kunnen worden. Het sluiten van stofkringlopen lijkt echter niet samen te hangen met de locatie van verstedelijking.

7.5 Conclusie

Verstedelijkingsvarianten kunnen de milieu-effecten van energieverbruik beïnvloeden. Behalve het energieverbruik in het verkeer zijn hierbij de mogelijkheden voor toepassing van stadsverwarming en kleinschalige warmtekrachtkoppeling van belang. Stadsverwarming stelt eisen aan de locatie van wijken (nabijheid tot een energiecentrale), de bebouwingsdichtheid en de omvang van wijken of steden. Voor kleinschalige warmtekrachtkoppeling speelt nabijheid tot een warmtebron geen rol, maar het rendement van deze vorm van warmtelevering is wat lager en de uitstoot van verzurende emissies hoger. Verdichting geeft niet altijd optimale condities voor toepassing van stadsverwarming of kleinschalige warmtekrachtkoppeling. Mogelijkheden voor zonne-energie zijn alleen differentiërend tussen varianten wanneer er verschillen zijn in bouwwijze; hoogbouw is voor zonne-energie minder geschikt. Voor het warmteverlies van gebouwen is de bebouwingsdichtheid van belang. Wanneer alle aspecten worden beschouwd, zijn de varianten DIFFUUS en VERDICHTING minder gunstig voor het energieverbruik dan de andere varianten. Hoewel het denkbaar is dat in de toekomst door de ontwikkeling van fotovoltaïsche zonne-energie verschillen tussen de varianten verdwijnen, blijft het voor de periode 2005-2015 en waarschijnlijk ook nog daarna van belang om rekening te houden met de mogelijkheden voor stadsverwarming. Het sluiten van kringlopen is in relatie tot energiestromen niet erg bruikbaar als uitgangspunt voor duurzame stedelijke ontwikkeling of een duurzame locatiekeuze voor verstedelijking.

Afval en grondstoffen spelen een ondergeschikte rol bij de vergelijking van verstedelijkingsvarianten. Het sluiten van kringlopen is op deze stromen echter het meest van toepassing. Hierbij gaat het om het laten circuleren van materialen in de maatschappij en het gebruik van afval als grondstof. Het sluiten van kringlopen als normatief uitgangspunt is voor deze stromen dus wel bruikbaar, maar niet in relatie tot verstedelijkingsvarianten.

8. SYNTHESE

8.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden de resultaten van de analyses in hoofdstuk 5 tot en met 7 besproken en met elkaar in verband gebracht. In paragraaf 8.2 wordt de bruikbaarheid van de stromenbenadering behandeld. In paragraaf 8.3 zullen de verschillende varianten met elkaar vergeleken worden op alle punten die in de voorgaande hoofdstukken relevant zijn gebleken. Op basis van deze vergelijking worden in paragraaf 8.4 enkele opmerkingen gemaakt over het in hoofdstuk 2 en 3 genoemde "dilemma van de compacte stad" en het verstedelijkingsbeleid. Paragraaf 8.5 sluit af met aanbevelingen voor nader onderzoek.

8.2 Bruikbaarheid van de stromenbenadering

In dit onderzoek zijn de volgende twee hypothesen onderzocht:

- milieu-effecten van verstedelijkingsvarianten kunnen geanalyseerd worden aan de hand van stromen die de stad ingaan en verlaten;
- het "sluiten van kringlopen" kan dienen als uitgangspunt om te bepalen welke verstedelijkingsvariant het meest duurzaam is.

In de hoofdstukken 5-7 is gebleken dat de stromen *verkeer*, *energie* en *water* door verstedelijkingsvarianten kunnen worden beïnvloed en dat door deze beïnvloeding verstedelijkingsvarianten van elkaar verschillen in hun milieu-effecten. Over het belang van water bestaan echter nog veel onzekerheden. De stromen *afval* en *grondstoffen* zijn van weinig belang, omdat de omvang of samenstelling van deze stromen niet of nauwelijks afhankelijk is van de locatie van verstedelijking.

De stromenbenadering biedt dus voor de stromen verkeer, energie en water aanknopingspunten voor de analyse van milieu-effecten. De aard van de beïnvloeding is per stroom zeer verschillend. Bij verkeer gaat het om beïnvloeding van beslissingen van mensen omtrent het reisgedrag. Energiestromen, waaronder in dit verband warmte of electriciteit wordt verstaan, worden beïnvloed door de ruimtelijke mogelijkheden (dichtheid, nabijheid tot warmtebron, minimumaantal woningen) die een variant biedt voor een milieuvriendelijke energievoorziening. Waterstromen zijn van belang in verband met de ruimte voor water in de stad en mogelijk ook vanwege verontreiniging van het grondwater, lozing van afvalwater, drinkwaterwinning en verdringing van andere meer milieubelastende functies. De verschillen tussen de stromen zijn zodanig dat voor de afzonderlijke stromen een eigen begrippenapparaat nodig is. Niettemin is de stromenbenadering in dit onderzoek bruikbaar geweest als vertrekpunt voor de analyse en om mogelijke milieu-effecten op te sporen. Een kanttekening die gemaakt kan worden is dat niet alle milieu-effecten afhankelijk zijn van stromen die de stad in- en uitgaan. Hierbij kan gedacht worden aan versnippering van leefgebieden van dieren, aantasting van vegetatie en directe vernietiging van ecosystemen door de bouw van steden, maar ook aan het creëren van omstandigheden voor vergroting van biodiversiteit. Hoewel verkeersstromen via de infrastructuur bij deze effecten een rol kunnen spelen, is hierbij ook het ruimtegebruik en de mate van concentratie van stedelijke functies zelf van belang.

Uit het voorgaande volgt dat de eerste hypothese kan worden bevestigd, met de kanttekening dat er belangrijke verschillen zijn tussen de stromen en dat niet alle milieu-effecten

(in de betekenis van effecten op biodiversiteit, gezondheid of welbevinden) samenhangen met stromen die de stad in- en uitgaan.

Over de hypothese met betrekking tot de bruikbaarheid van het kringloopprincipe kan het volgende worden opgemerkt. In de voorgaande hoofdstukken is gebleken dat onder het sluiten van kringlopen kan worden verstaan:

- gebruik maken van bronnen die in een gebied aanwezig zijn;
- hergebruik (binnen een gebied);
- verwerking van afvalstoffen binnen een gebied.

In de hoofdstukken 5, 6 en 7 is naar voren gekomen dat het kringloopprincipe vanuit milieu-oogpunt vooral bruikbaar is in de betekenis van hergebruik van afval (als grondstof) en water. Dit lijkt ook de meest juiste betekenis van het begrip kringloop, omdat sprake is van circulatie van een vaste hoeveelheid materie. Het lijkt echter zinvoller de analyse te richten op afzonderlijke stofstromen zoals koper, kwik en cadmium. Eventueel kan het benutten van restwarmte gezien worden als een manier om de energiekringloop deels te sluiten. Voor de stromen afval, grondstoffen, water en energie is het kringloopprincipe in deze zin dus van toepassing, waarbij afval en grondstoffen in relatie tot elkaar moeten worden gezien. De milieu-effecten die met deze stromen samenhangen worden echter door meer factoren bepaald dan de mate van hergebruik. Voor *energie*, *grondstoffen* en *drinkwater* geldt dat de ernst van de milieu-effecten die ermee samenhangt voor een belangrijk deel afhankelijk is van de aard van de voorraad die wordt aangesproken. Met name het gebruik van fossiele brandstoffen en andere niet-vernieuwbare grondstoffen leidt tot milieu-effecten. Voor de milieu-effecten van drinkwaterwinning is het van belang of gebruik wordt gemaakt van grondwater, oppervlaktewater of regenwater. Omdat *energie* en *water* in de praktijk niet voor 100 procent kunnen worden hergebruikt, worden de milieu-effecten die hiermee samenhangen wel verminderd, maar niet opgelost door kringlopen binnen een gebied te sluiten. Het is ook van belang om op een andere stroom over te schakelen (zonne-energie, oppervlaktewater/regenwater). Dit hangt echter wel samen met kringlopen, zoals de hydrologische kringloop of de koolstof-kringloop, maar hierbij gaat het om natuurlijke kringlopen en niet om in de maatschappij circulerende kringlopen. Door op andere methoden van energievoorziening en drinkwaterwinning over te gaan worden deze "opengeboken" kringlopen weer gesloten. Behalve de aard van de voorraad die wordt aangesproken, is ook afwenteling op andere (milieu-) voorraden van belang; bij zuivering van water ontstaat bijvoorbeeld vervuild zuiveringsslib.

Het sluiten van kringlopen in de zin van gebruik van gebiedseigen bronnen is in de meeste gevallen vanuit milieu-oogpunt een weinig bruikbaar uitgangspunt. Voor het milieu is het veelal niet primair van belang of stromen van binnen of buiten een gebied afkomstig zijn. Niettemin kunnen door meer "autarkie" de milieu-effecten die optreden bij de verplaatsing van stromen worden verminderd, zoals emissies door het verkeer. De begrenzing van het schaalniveau waarbinnen kringlopen moeten worden gesloten, is in dit geval echter subjectief.

Verwerking van afvalstoffen of zuivering van afvalwater binnen een gebied tenslotte kan zinvol zijn om verspreiding van emissies te voorkomen. Net als bij de andere betekenissen van het begrip kringloop hangt dit echter niet samen met de locatie van verstedelijking. In hoofdstuk 5 is gebleken dat het kringloopprincipe voor verkeersstromen weinig bruikbaar is.

Uit het bovenstaande volgt dat het sluiten van kringlopen geen bruikbaar uitgangspunt is om te bepalen welke verstedelijkingsvariant het meest duurzaam is.

8.3 Vergelijking van verstedelijkingsvarianten

In de hoofdstukken 5 tot en met 7 zijn de VERSRING-concepten en het toegevoegde concept VERDICHTING aan de hand van een aantal indicatoren met elkaar vergeleken. Uit tabel 8.1 blijkt dat voor veel milieu-effecten zowel de locatie als de stedenbouwkundige inrichting van belang is. Bij de effecten op de waterhuishouding en mogelijkheden voor stadsverwarming kunnen ze bovendien niet los van elkaar worden gezien. Voor deze effecten is het noodzakelijk om veronderstellingen te doen of gegevens te hebben ten aanzien van variabelen op lokaal niveau om de effecten van verstedelijkingsvarianten op regionaal niveau te kunnen voorspellen.

Uit de tabel kan worden geconcludeerd dat het concept DIFFUUS het meest ongunstig is voor het milieu. Dit concept leidt tot de hoogste groei van het autoverkeer, de meeste versnippering en het hoogste energieverbruik. Dit laatste hangt vooral samen met het feit dat stadsverwarming of kleinschalige warmtekrachtkoppeling niet mogelijk is. Een ruimtelijke structuur volgens het "Los Angeles"-model zoals die door Van Rossem (1994) is bepleit, is dus vanuit milieu-oogpunt ongunstig. Hierbij moet wel worden opgemerkt dat de effecten op de mobiliteit en op de wijze van energieopwekking op lange termijn onzeker zijn en afhankelijk van verschillende maatschappelijke en/of technologische ontwikkelingen. Wat geluidhinder en lokale luchtverontreiniging betreft is de variant DIFFUUS wel positief.

De variant VERDICHTING, die wat betreft bebouwingsdichtheden en ruimtebeslag als de tegenpool van DIFFUUS is te beschouwen, is ook voor veel aspecten minder gunstig dan de varianten RING, INFRA en SCHUIF. Nadelen van VERDICHTING zijn:

- hogere concentraties van lokale luchtverontreiniging, meer geur- en geluidhinder;
- geen optimale mogelijkheden voor stadsverwarming en kleinschalige warmtekrachtkoppeling;
- vermindering van de ruimte voor water (in de vorm van open water of groen) in de stad, waardoor in droge perioden inlaat van gebiedsvreemd water nodig is of blijft;
- minder goede mogelijkheden voor thermische en passieve zonne-energie door het grote aandeel hoogbouw;
- aantasting van biodiversiteit in de stad.

Voordelen van dit concept zijn echter beperking van het autoverkeer en beperking van versnippering op het schaalniveau van de Stedenring Centraal Nederland.

Tussen de varianten RING, SCHUIF en INFRA lijken weinig grote verschillen te bestaan. De variant INFRA leidt echter tot minder lokale luchtverontreiniging.

Voor de interpretatie van de uitkomsten is het van belang om te vermelden dat de effecten op versnippering van leefgebieden van fauna rechtstreeks zijn overgenomen uit kwantitatief onderzoek. De overige effecten zijn beredeneerd op basis van literatuur en/of gesprekken met deskundigen.

	RING	SCHUIF	INFRA	DIFFUUS	VERDICHTING
<i>Verkeer</i>					
Autokilometers	+/-	+/-	+/-	-	+
Lokale luchtverontreiniging/geurhinder	+/-	+/-	+	++	-
Geluidhinder	+/-	+/-	+/-	+	-
<i>Versnippering</i>					
Habitatkwaliteit (zonder compensatie) (1)	-	-	-	--	+
Biodiversiteit in de stad	+	+	+	+	-
<i>Water</i>					
Water in de stad (2)	+	+	+	+	-
<i>Energie</i>					
Stadsverwarming (3)	+	+	+	-	+/-
Kleinschalige WKK	+	+	+	- (4)	+/-
Passieve en thermische zonne-energie	+	+	+	+	- (6)
Fotovoltaïsche zonne-energie	+	+	+	+	+
Warmteverlies gebouwen	+/-	+/-	+/-	- (5)	+/-

Tabel 8.1 Milieu-effecten van verstedelijkingsvarianten (+ = relatief gunstig voor het milieu, - = relatief ongunstig voor het milieu)

- (1) De scores gelden alleen voor het schaalniveau van de Stedenring Centraal Nederland
- (2) Verondersteld is dat overall "waterneutraal" wordt gebouwd, mogelijke effecten van grondwaterverontreiniging, lozing van afvalwater, drinkwaterwinning en vervanging van functies met een grotere milieubelasting zijn niet meegenomen
- (3) Verondersteld is dat de mogelijkheden voor stadsverwarming tussen RING, INFRA en SCHUIF niet verschillen omdat nieuwe electriciteitscentrales nabij woongebieden gepland kunnen worden
- (4/5) Wanneer de bebouwingsdichtheden bij DIFFUUS even hoog zijn als RING, INFRA en SCHUIF verandert de score in + (4) of +/- (5)
- (6) De minder goede mogelijkheden worden veroorzaakt door het grote aandeel hoogbouw
- (7) Een mogelijk nadeel van de variant VERDICHTING is de benodigde ruimte buiten de stad voor plaatsing van zonnecellen

De volgende onzekerheden en kanttekeningen kunnen worden genoemd:

- de verschillen tussen RING, INFRA en SCHUIF wat betreft het aantal autokilometers zijn eigenlijk niet goed aan te geven zonder meer gedetailleerde analyses of modelberekeningen;
- de effecten van RING, INFRA en SCHUIF op lokale luchtverontreiniging, geluidhinder en geurhinder zijn niet kwantitatief onderbouwd. Het is mogelijk dat de specifieke omstandigheden op de nieuwe verstedelijkingslocaties hiervoor van groot belang zijn;
- de beoordeling van de effecten op de waterhuishouding is wellicht incompleet. Omdat onduidelijk is of de effecten van verontreiniging van het grondwater door stedelijke activiteiten, lozing van afvalwater, transport van drinkwater en vervanging van functies met een grotere milieubelasting van belang zijn voor de vergelijking van verstedelijkingsvarianten, zijn deze niet in de tabel meegenomen;
- de effecten op biodiversiteit binnen de stad zijn niet kwantitatief onderbouwd;
- het effect van RING, SCHUIF, INFRA en VERDICHTING op de mogelijkheden voor stadsverwarming is slechts globaal aangegeven en niet exact doorgerekend. Verondersteld is dat de mogelijkheden voor stadsverwarming tussen RING, INFRA en SCHUIF niet verschillen omdat nieuwe electriciteitscentrales nabij woongebieden gepland kunnen worden. De feitelijke toekomstige locaties van electriciteitscentrales zijn uiteraard onzeker;
- het effect van VERDICHTING op de mogelijkheden voor kleinschalige warmtekrachtkoppeling is gebaseerd op kwalitatieve informatie.

Uiteraard zijn de uitkomsten afhankelijk van de veronderstellingen die gedaan zijn wat betreft de kenmerken van verstedelijkingsvarianten. Voor de interpretatie van de uitkomsten is het van belang dat in het concept DIFFUUS sprake is van relatief lage en in het concept VERDICHTING van relatief hoge bebouwingsdichtheden. Vanwege de beperkte ruimte in de stad is het aandeel hoogbouw in het concept VERDICHTING hoog. Door de dichtheid tussen de varianten te variëren was het mogelijk om de bandbreedte van mogelijke effecten te verkennen. Een nadeel hiervan is echter dat hierdoor in feite ruimtelijke variabelen op verschillende schaalniveaus tegelijkertijd worden gevarieerd, waardoor de vergelijking tussen de varianten enigszins vertekend wordt. Het is immers goed mogelijk om een sterke spreiding (concept DIFFUUS) op regionaal niveau te combineren met hoge dichtheden op lokaal niveau. Verdichting is ook mogelijk in alle andere concepten.

Wanneer verondersteld wordt dat de bebouwingsdichtheid in het concept DIFFUUS even hoog is als in RING, INFRA en SCHUIF, is dit concept echter nog steeds het meest ongunstig wat betreft het aantal autokilometers en ecologische versnippering. Ook voor het energieverbruik blijft DIFFUUS wat ongunstiger dan de andere concepten. Stadsverwarming is nog steeds niet mogelijk, omdat het minimale aantal woningen niet wordt gehaald. Kleinschalige warmtekrachtkoppeling wordt bij een hogere bebouwingsdichtheid echter wel mogelijk, maar een nadeel van deze vorm van warmtelevering is de hogere uitstoot van verzurende emissies. Het verschil met de andere varianten wat betreft de CO₂-emissie als gevolg van energieopwekking wordt niettemin kleiner.

Ook de negatieve effecten van het concept VERDICHTING worden voor een deel door het extreme karakter van het concept veroorzaakt. Wanneer uitgegaan zou worden van een minder extreme verdichting (minder hoogbouw) zouden de mogelijkheden voor thermische en passieve zonne-energie toenemen. Het is zeer wel denkbaar dat in een concreet geval verdichting niet ten koste gaat van mogelijkheden voor stadsverwarming of kleinschalige warmtekrachtkoppeling, dat de ruimte voor water in de stad niet wordt verminderd en dat

de effecten op verstoring en stedelijke biodiversiteit niet substantieel zijn. Toch kan een sterk accent op verdichting voor deze aspecten ongewenst zijn.

De uitkomsten zijn uiteraard ook beïnvloed door de keuze van de verstedelijkingsvarianten zelf. Er zijn andere verstedelijkingsvarianten denkbaar dan de VERSRING-concepten, zoals het bouwen van één grote stad in het Groene Hart en het bouwen van een bandstad tussen Amsterdam en Rotterdam (Van den Boomen, 1995). In dit verband kan worden vermeld dat door De Jong e.a. (1996a) een methodiek is ontwikkeld waarmee verschillende verstedelijkingsplannen vergelijkbaar worden gemaakt. In deze methodiek wordt elke variant getypeerd in termen van concentratie en deconcentratie op vijf verschillende schaalniveaus, waardoor bijvoorbeeld de wegenstructuur, de ontwateringsstructuur en het type landschap (parklandschap, accent op groen in de stad etc.) voorspeld kunnen worden.

Aan een aantal aspecten, die bij de afweging van verstedelijkingslocaties een rol spelen, is in dit onderzoek geen of weinig aandacht besteed. Hierbij kan gedacht worden aan wettelijk vastgelegde milieuzones met betrekking tot geluidhinder en vliegverkeer (Schiphol), milieubeschermingsgebieden, bodemverontreiniging, landschappelijke effecten en archeologische vindplaatsen. Daarnaast kunnen ook in bestaand stedelijk gebied maatregelen genomen worden die milieu-effecten met betrekking tot het verkeer, het energieverbruik en de waterhuishouding beperken. Wellicht is in sommige opzichten in bestaande steden een grotere milieuwinst te behalen dan op nieuwbouwlocaties.

8.4 De compacte stad

Sommige milieu-effecten worden verminderd door in hoge dichtheden te bouwen, terwijl andere hierdoor juist worden versterkt. Ook het bouwen aan de rand van bestaande steden kan zowel voordelen als nadelen hebben. In hoofdstuk 2 en 3 is dit dilemma aangeduid als het "dilemma van de compacte stad". In tabel 8.2 is weergegeven welke dilemma's kunnen voorkomen.

Bij de tabel kunnen enkele kanttekeningen worden geplaatst. In de eerste plaats verschilt de situatie per gebied, waardoor de genoemde dilemma's niet overal voorkomen. In verband met de ligging van snelwegen en dergelijke leidt bouwen in de bestaande stad wellicht niet altijd tot ernstiger gezondheidseffecten door luchtverontreinigende stoffen en geluidhinder dan bouwen aan de rand. Wellicht is het mogelijk om hoge gemiddelde dichtheden te combineren met goede mogelijkheden voor flora en fauna, wanneer tussen de bebouwing voldoende open ruimte is. Locaties tussen bestaande steden leiden in de Randstad tot een grotere beperking van de mobiliteit dan locaties die op één stad zijn georiënteerd, terwijl dit in Brabant en Gelderland juist andersom is. De effecten van verdichting op de mobiliteit zijn ook niet overal gelijk. Beperking van het verharde oppervlak is vooral in infiltratiegebieden van belang.

In de tweede plaats spelen behalve de bebouwingsdichtheid ook andere inrichtingsaspecten een rol; door voorzieningen voor langzaam verkeer en een goede ligging van woningen ten opzichte van autowegen kunnen milieu-effecten die samenhangen met verkeersstromen bijvoorbeeld worden verminderd. Het is mogelijk dat dergelijke aspecten van groter belang zijn dan enkel de dichtheid. Volgens De Jong (1996) kan een grote milieuwinst worden bereikt door een hoge stedenbouwkundige kwaliteit; in feite is dit een voorwaarde voor de effectiviteit van alle andere milieumaatregelen in de bouw. Een hoge architectonische kwaliteit of flexibiliteit leidt immers tot een langere levensduur. Ook is een belangrijke bijdrage te verwachten van demontabel bouwen; het zo ontwerpen van bouwdelen, dat zij

in verschillende toekomstige architectuur-opvattingen opnieuw kunnen worden toegepast (De Jong, 1996).

Voordelen hoge dichtheid	Voordelen lage dichtheid
Beperken autoverkeer Beperken warmteverlies gebouwen Mogelijkheden stadsverwarming en kleinschalige warmtekrachtkoppeling Beperking aantasting flora en fauna buiten de stad	Beperken geluidhinder, lokale luchtverontreiniging en geurhinder Ruimte voor flora en fauna in de stad Gering aandeel verhard oppervlak (infiltratiegebieden) Voldoende ruimte voor open water en groen
Voordelen bouwen nabij bestaande steden	Voordelen bouwen op afstand van bestaande steden
Beperken autoverkeer Beperken versnippering op schaalniveau Stedenring	Beperken lokale luchtverontreiniging

Tabel 8.2 Mogelijke dilemma's van de compacte stad

Tenslotte kunnen veranderingen optreden in de tijd. De levensduur van verstedelijkingsvarianten kan tachtig jaar of meer bedragen, terwijl de effecten op verkeer en het energieverbruik kunnen veranderen door maatschappelijke en technologische ontwikkelingen. Het is denkbaar dat hierdoor milieu-aspecten in de toekomst minder belangrijk worden bij de locatiekeuze van verstedelijking en dat aspecten die samenhangen met ruimtelijke kwaliteit, zoals kwaliteit van de woonomgeving, natuur en landschap of sociale en economische overwegingen dominant worden. Er zijn wat betreft het verkeer echter ook ontwikkelingen denkbaar die de invloed van de ruimtelijke structuur kunnen doen toenemen. Verder veranderen niet alleen de milieu-effecten zelf, maar ook de maatschappelijke perceptie van de ernst ervan in de tijd.

Uit dit alles blijkt dat moeilijk kan worden gesproken van *het* dilemma van de compacte stad; er is geen sprake van een ééndimensionale tegenstelling. Nader onderzoek is noodzakelijk om indicatoren te ontwikkelen waarmee verstedelijkingsplannen op het schaalniveau van steden en stadsgewesten beoordeeld kunnen worden. Hierbij kunnen mogelijke dilemma's opgespoord worden. In studies van TNO-INRO (Reijs e.a., 1996; Van der Wal, 1994) zijn indicatoren en inrichtingsprincipes geformuleerd die betrekking hebben op water en verkeer. Dergelijke indicatoren zouden ook ontwikkeld moeten worden voor het energieverbruik en voor effecten op flora en fauna. Op deze manier kunnen mogelijke dilemma's worden opgespoord.

Met betrekking tot het compacte stad-beleid kan het volgende worden opgemerkt. In de VINEX wordt een voorkeur uitgesproken voor het benutten van mogelijkheden in het bestaande stedelijk gebied. Wanneer dit niet mogelijk is, zou aan de rand gebouwd moeten worden en pas daarna komen locaties verder weg in beeld. Argumenten voor het compacte stad-beleid zijn ondersteuning van het stedelijk draagvlak, beperking van de mobiliteit en

beperking van verdere verstedelijking van het landelijk gebied. Omdat de situatie per gebied verschilt, lijkt een dergelijke uniforme verstedelijkingsstrategie voor alle gebieden, wanneer deze al te strikt wordt toegepast, vanuit milieu-oogpunt niet gewenst. Een gebieds-specifieke afweging is noodzakelijk.

Vanwege de lange levensduur van verstedelijkingsvarianten en de onzekerheden over de lange termijn-effecten zou gestreefd moeten worden naar een ruimtelijke structuur die robuust is voor verschillende mogelijke toekomstige ontwikkelingen. Een zekere nabijheid tot bestaande steden (afhankelijk van het gebied met eenkernige of meerkernig oriëntatie), aansluiting op haltes van openbaar vervoer, een zekere bundeling van verstedelijking en niet te lage dichtheden zijn in het algemeen gunstig. Een te eenzijdig accent op beperking van de mobiliteit en van het ruimtebeslag door verstedelijking is echter niet gewenst.

8.5 Aanbevelingen voor nader onderzoek

In dit rapport is gebleken dat de relatie tussen verstedelijking en milieu complex is en dat veel aspecten hierin een rol spelen. Het is dan ook niet verwonderlijk dat er nog verschillende leemten in kennis zijn. De volgende aanbevelingen voor nader onderzoek kunnen worden gegeven:

Effecten schaalvergroting

Gebleken is dat de invloed van verstedelijkingsvarianten op de mobiliteit afhankelijk is van de afstandsgevoeligheid van de bevolking, oftewel de mate waarin afstanden een belemmering vormen bij het reisgedrag van mensen. De inkomensontwikkeling, brandstofprijzen en de snelheid van het verkeers- en vervoersysteem spelen hierbij een rol. Een verder afnemende afstandsgevoeligheid zou kunnen betekenen dat het moeilijker wordt om door middel van ruimtelijk beleid de mobiliteit te beïnvloeden en dat grote woon-werkafstanden door werkenden minder bezwaarlijk worden gevonden. Schaalvergroting van woon-werkrelaties wordt verder in de hand gewerkt door processen op de arbeidsmarkt. Door de specialisatie van functies treedt een segmentatie van de arbeidsmarkt op en oriënteren mensen zich voor het vinden van een baan op een groter gebied. Ook de toename van tijdelijke en part-time banen en het aantal tweeverdieners kan wellicht grote woon-werkafstanden bevorderen.

Onderzocht zou moeten worden in hoeverre deze processen van schaalvergroting de invloed van de ruimtelijke structuur veranderen en welke variabelen (inkomensontwikkeling, snelheden, brandstofprijzen) daarbij een belangrijke rol spelen. Daarbij dienen ook de effecten op lange termijn aan de orde te komen. Verroen e.a. (1995) stellen voor om scenario's door te rekenen met alternatieve veronderstellingen ten aanzien van het toekomstige afstandsgedrag.

Vervoerstechnologische ontwikkelingen

De invloed van verstedelijkingsvarianten op verkeersemisies op de lange termijn is gevoelig voor mogelijke veranderingen in de emissie per reizigerskilometer van zowel de auto als het openbaar vervoer. Het schoner worden van de auto zou bijvoorbeeld het belang van nabijheid en menging van functies kunnen verminderen. Aan de andere kant zijn ook in het openbaar vervoer verbeteringen denkbaar, waardoor verschillen in milieubelasting tussen varianten juist vergroot worden. Om de gevoeligheid op dit punt te onderzoeken zouden

scenario's met alternatieve veronderstellingen voor technologische ontwikkelingen moeten worden doorgerekend.

Ruimtelijke ontwikkeling van de werkgelegenheid

De mate waarin wonen en werken gemengd zijn, heeft een belangrijke invloed op de omvang van de mobiliteit. Locaties van bedrijven zijn minder gemakkelijk door de overheid te sturen dan locaties van woningen. Onderzocht zou moeten worden in hoeverre de autonome ruimtelijke ontwikkeling van (verschillende typen) werkgelegenheid invloed heeft op de mobiliteitseffecten van verstedelijkingsvarianten.

Geluidhinder, lokale luchtverontreiniging en geluidhinder

Over de invloed van verstedelijkingsvarianten op lokale luchtverontreiniging, geurhinder en geluidhinder is weinig bekend. In de discussie over voor- en nadelen van het compacte stad-beleid speelt dit een belangrijke rol (het "dilemma van de compacte stad"). Hoge bebouwingsdichtheden, menging van functies en bundeling van verstedelijking kunnen weliswaar de totale mobiliteit beperken, maar voor deze aspecten ongunstig zijn. Bij modelberekeningen van de mobiliteitseffecten van ruimtelijke varianten zouden ook deze milieu-effecten moeten worden betrokken.

Verstedelijking en natuur

In dit onderzoek is aandacht besteed aan de invloed van verstedelijkingsvarianten op versnippering van leefgebieden van fauna. Er zijn echter ook andere invalshoeken denkbaar om effecten van verstedelijking op de natuur te meten. Zou kunnen ook effecten op vegetatie worden onderzocht en kunnen diverse criteria worden gehanteerd (zeldzaamheid, streekeigenheid etc.). Gebleken is dat verstedelijking ook positieve ecologische effecten kan hebben, omdat steden een geschikte omgeving vormen voor bepaalde typen vegetatie (en wellicht ook fauna). Ook deze positieve effecten dienen in de beschouwing te worden betrokken. Onderzocht zou moeten worden welke rol de ruimtelijke inrichting daarbij speelt.

Verstedelijking en water

Gebleken is dat over de mogelijke milieu-effecten van verstedelijkingsvarianten als gevolg van verontreiniging van het grondwater, lozing van stedelijk afvalwater, vervanging van niet-stedelijke functies met een grotere milieubelasting en transport van drinkwater (energie- en materiaalgebruik) geen kwantitatieve gegevens beschikbaar zijn. Daarom is het onduidelijk in hoeverre deze aspecten van belang zijn voor de vergelijking van verstedelijkingsvarianten of potentiële bouwlocaties. Nader onderzoek is noodzakelijk om (de orde van grootte van) deze effecten te kwantificeren.

Verstedelijking en energie

Gebleken is dat verstedelijkingsvarianten kunnen verschillen in hun effecten op de mogelijkheden voor relatief milieuvriendelijke methoden van energie-opwekking. Verdichting is bijvoorbeeld niet altijd optimaal voor de mogelijkheden voor stadsverwarming en kleinschalige warmtekrachtkoppeling. Met name voor de uitstoot van CO₂ is dit van belang. De exacte verschillen in CO₂-emissies tussen verstedelijkingsvarianten zijn echter niet uitgerekend. Met name het verschil tussen een verstedelijkingsvariant waarin stadsverwarming mogelijk is en één waarbij alleen kleinschalige warmtekrachtkoppeling of thermische

zonne-energie kan worden toegepast zou moeten worden gekwantificeerd. Hierdoor kan meer inzicht ontstaan in het belang van energie voor het verstedelijkingsbeleid.

Inrichtingsaspecten

De milieukwaliteit in en buiten het stedelijk gebied wordt in belangrijke mate beïnvloed door ruimtelijke variabelen op lagere schaalniveaus dan de Stedenring Centraal Nederland, zoals het stadsgewestelijk, stedelijk of wijkniveau. In verschillende recente studies, onder meer in het kader van de stadsecologie, zijn ontwerpprincipes of indicatoren geformuleerd voor het beoordelen van verstedelijkingsplannen. Dergelijke principes en indicatoren zouden nader uitgewerkt en kwantitatief onderbouwd moeten worden voor alle relevante aspecten (verkeer, water, energie, natuur), toegespitst op verschillende typen gebieden. Door een integrale benadering te hanteren kunnen mogelijke dilemma's tussen verschillende aspecten worden opgespoord.

9. CONCLUSIES

Op basis van de analyse in de voorgaande hoofdstukken kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

1. De stromenbenadering biedt aanknopingspunten voor de analyse van milieu-effecten van verstedelijkingsvarianten voor wat betreft de stromen verkeer, energie en water. De wijze waarop verstedelijkingsvarianten deze stromen beïnvloeden is zeer verschillend. De stromen afval en grondstoffen worden niet of nauwelijks beïnvloed door de locatie van verstedelijking.
2. Het "sluiten van kringlopen" is geen bruikbaar uitgangspunt om te bepalen welke verstedelijkingsvariant het meest duurzaam is. Het kringlooppincipe in de betekenis van het gebruik van gebiedseigen bronnen is vanuit milieu-oogpunt in veel gevallen een weinig bruikbaar uitgangspunt. Het kringlooppincipe is vooral bruikbaar in de zin van hergebruik van water en hergebruik van afval als grondstof. Dit hangt echter niet of nauwelijks samen met de locatie van verstedelijking.
3. Verstedelijkingsvarianten hebben een belangrijke invloed op verkeersstromen. In de Randstad kan de automobiliteit in de periode 2005-2015 het best worden beperkt door het bouwen van nieuwe steden langs openbaar vervoer-lijnen tussen de stadsgewesten op de ring of in het Groene Hart. In Brabant en Gelderland is voortzetting van het compacte stad-beleid gunstig. Menging van functies, nabijheid tot haltes van openbaar vervoer en hoge bebouwingsdichtheden kunnen het autoverkeer beperken. De invloed van verstedelijkingsvarianten is echter gevoelig voor diverse maatschappelijke en technologische ontwikkelingen, waardoor de effecten op verkeersemisies op lange termijn onzeker zijn. Met name de ontwikkeling van de afstandsgevoeligheid van de bevolking, segmentatieprocessen op de arbeidsmarkt en de woningmarkt, de mogelijke opkomst van telematica, vervoertechnologische ontwikkelingen, energieprijzen en de ruimtelijke ontwikkeling van de werkgelegenheid zijn in dit verband van belang.
4. Compacte verstedelijking op het schaalniveau van de Stedenring Centraal Nederland verdient vanuit het oogpunt van beperking van versnippering van leefgebieden van fauna de voorkeur boven gespreide of lintvormige verstedelijking. Op lagere schaalniveaus kan een te grote concentratie van bebouwing juist ongunstig zijn voor ecologische verbindingen of vegetatie in de stad.
5. Verstedelijking kan verschillende negatieve effecten op de waterhuishouding hebben. Verdroging als gevolg van verstedelijking kan door technische en stedenbouwkundige maatregelen, zoals zettingsvrije methoden van bouwrijp maken, kruipruimteloos bouwen en infiltratievoorzieningen worden vermeden of is niet afhankelijk van de locatie van verstedelijking (drinkwaterwinning). Vanwege verontreiniging van het grondwater, transport van drinkwater, lozing van afvalwater of verdringing van niet-stedelijke functies met een grotere milieubelasting zijn verschillen tussen varianten echter niet uit te sluiten. Omdat kwantitatieve gegevens ontbreken is het belang van deze effecten onduidelijk. Een te sterke verdichting of (erg) hoge bebouwingsdicht-

heden kunnen ongunstig zijn, wanneer hierdoor de ruimte voor water in de stad (in de vorm van open water of groen) wordt beperkt. Water in de stad heeft een gunstige invloed op het klimaat en kan nodig zijn voor het vasthouden van gebiedseigen water.

6. Verstedelijkingsvarianten kunnen verschillen in de mogelijkheden voor milieuvriendelijke methoden van energieopwekking. Hierbij zijn met name de voorwaarden voor toepassing van warmtelevering (stadsverwarming of kleinschalige warmtekrachtkoppeling) van belang. Nabijheid tot een bestaande of nieuw te bouwen electriciteitscentrale of afvalverbrandingsinstallatie, hoge bebouwingsdichtheden en een zekere bundeling van verstedelijking zijn in dit verband gewenst. Verdichting binnen bestaande steden is echter niet altijd optimaal voor toepassing van warmtelevering. Mogelijkheden voor toepassing van passieve, thermische en fotonvoltaïsche zonne-energie worden op inrichtingsniveau bepaald; hoogbouw is voor de eerste twee vormen van zonne-energie minder geschikt. In verband met de ontwikkeling van fotonvoltaïsche zonne-energie is het denkbaar dat het belang van warmtelevering voor de ruimtelijke ordening op lange termijn vermindert of verdwijnt. Voorlopig lijkt het echter van belang om rekening te houden met mogelijkheden voor stadsverwarming of kleinschalige warmtekrachtkoppeling.
7. Wanneer alle relevante milieu-aspecten worden beschouwd, blijkt dat een sterk gespreide verstedelijking (DIFFUUS) vanuit milieu-oogpunt het meest ongunstig is. Dit hangt samen met de relatief hoge groei van het autoverkeer, de sterke versnippering van leefgebieden van dieren en het feit dat stadsverwarming bij kleine eenheden niet rendabel is. Een sterk accent op verdichting (VERDICHTING) binnen bestaande steden is voor veel aspecten ook ongunstig. Hierbij kan gedacht worden aan toename van geluidhinder en concentraties van lokale luchtverontreiniging in de stad, minder goede mogelijkheden voor stadsverwarming en wellicht ook kleinschalige warmtekrachtkoppeling, aantasting van biodiversiteit in de stad en mogelijk ook afname van de ruimte voor water in de stad. Wanneer verdichting gepaard gaat met hoogbouw worden ook de mogelijkheden voor passieve en thermische zonne-energie beperkt. Voor beperking van het verkeer of het voorkomen van aantasting van natuur en landschap buiten de stad kan verdichting wel positief zijn.
8. In het algemeen lijken een zekere nabijheid tot bestaande steden, nabijheid tot haltes van openbaar vervoer, een zekere bundeling en niet te lage dichtheden vanuit milieu-oogpunt gunstig. Een te strikt gehanteerde uniforme verstedelijkingsstrategie voor alle gebieden, zoals de voorkeursvolgorde in de VINEX (eerst bouwen in, dan aan, dan op afstand van de stad), is echter voor het milieu niet gewenst. Verschillende aspecten spelen een rol waarvan zowel het belang als de ruimtelijke consequenties per gebied (kunnen) verschillen. Dit betekent dat een locatie- of regiospecifieke benadering zinvol is.

LITERATUUR

Anderson, W.P., P.S. Kanaroglou and E.J. Miller (1996); Urban Form, Energy and the Environment: A Review of Issues, Evidence and Policy. In: *Urban Studies*, Vol. 33, No. 1, 1996, pp. 7-35.

Annema, J.A., P.W.M. van den Hoek en J.P.M. Ros (1993); *De aarde als onze provisiekast, een inventarisatie van voorraden en hun onderlinge samenhang*. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven. RIVM-rapport nr. 772416001.

Bakel, P.J.T. van, A.J. de Braal, G.D. Gelgof, D.J. Marsman, L.M. Remesal van Merode en J. Luijendijk (1995); *Verstedelijking en verdroging*. RIZA, Lelystad/Tauw Civiel en Bouw BV, Deventer. Nationaal Onderzoekprogramma Verdroging, NOV-rapport 4.

Barends, S. (1990); Historisch-geografische benadering van versnippering. In: Raad voor het Milieu- en Natuuronderzoek (1990); *De versnippering van het Nederlandse landschap. Onderzoeksprogrammering vanuit zes disciplineaire benaderingen*. Publikatie RMNO nr. 45. pp. 25-94.

Bartelds, H.J. en G. de Roo (1995); *Dilemma's van de compacte stad: uitdagingen voor het beleid*. VUGA, Den Haag.

Berends, J., V. Geelen en J. Goedman (1995); *De ecologische stad als missie. Naar een duurzame ontwikkeling van stedelijke systemen*. Rijksplanologische Dienst, Afdeling Thematische Planvorming. Den Haag.

Bergh, J.C.J.M. van den and P. Nijkamp (1991); *Modelling Ecologically Sustainable Economic Development in a Region: A Case Study in the Netherlands*. Research Memorandum 1991-92 december 1991, VU Amsterdam.

Boer, de M. (1995); *Milieu, ruimte en wonen, tijd voor duurzaamheid*. Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, Den Haag.

Boomen, T. van den (1995); De Randstad staat op barsten. In: *Intermediair*, 15 september 1995, jaargang 31, nr. 37, pp. 17-21.

Bouwer, K. en J.C.M. Klaver (1987); *Milieuproblemen in geografisch perspectief*. Een geografisch overzicht van de milieuproblematiek veroorzaakt door maatschappelijke activiteiten in Nederland. Van Gorcum, Assen.

Bouwer, K. en P. Leroy (red.) (1995); *Milieu en ruimte: analyse en beleid*. Uitgeverij Boom, Meppel/Amsterdam.

Breheny, M.J. (1992); The Contradictions of the Compact City; A Review. In: Breheny, M.J. (Ed.) (1992); *Sustainable Development and Urban Form*. Pion Limited, London. pp. 138-159.

Bresser, H. en W. van der Veen (1991); *Vergelijking van centrale verwarming met stadsverwarming en kleinschalige warmtekoppeling*. Publikatiereeks lucht nr. 94. Publicatie van het Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer.

Broodbakker, N.W., J.L. Fiselier, C.L. van der Lugt en D. de Smit (1995); *Water in de bebouwde omgeving*. Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij/Informatie- en Kenniscentrum Natuurbeheer, Wageningen. Ondersteuning door DHV Water BV.

Bueno de Mesquita, H., H.B. Tirion, J.W. Foppen en C. Kwakernaak (1994); *Water en verstedelijking, een beoordelingsmethode voor de effecten op waterafhankelijke functies*. TNO Milieuwetenschappen. TNO-MW-R 94/269.

Burchell, R.W. and D. Listokin (eds.) (1982); *Energy and Land Use*. Centre for Urban Policy Research. Rutgers, the State University of New Jersey.

Buursink, J. (1986); Economic urbanization and desurbanization within the Dutch settlement continuum. In: Borchert, J.G., L.S. Bourne en R. Sinclair (eds.) (1986); *Urban systems in transition*. Koninklijk Nederlands Aardrijkskundig Genootschap/Geografisch Instituut Rijksuniversiteit Utrecht, Amsterdam/Utrecht. pp. 206-221.

Centraal Bureau voor de Statistiek (1989); *Afvalstoffen, van gemeentewege ingezameld afval*. Sdu uitgeverij/CBS-publikaties, Voorburg/Heerlen.

Centrum voor Energiebesparing en Schone Technologie (1995); *The potential for PV on roofs and walls in the Netherlands*. Delft.

Clerx, W.C.G. en E. J. Verroen (1992); *Ruimtelijke inrichtingsvarianten voor Nederland: vervoerspatronen en milieuconsequenties, hoofdrapport*. INRO-TNO, Delft. Rapport INRO-VVG 1992-01.

Coeterier, J.F. (1990); Omgevingspsychologische aspecten van versnippering. In: Raad voor het Milieu- en Natuuronderzoek (1990); *De versnippering van het Nederlandse landschap. Onderzoeksprogrammering vanuit zes disciplineaire benaderingen*. Publikatie RMNO nr. 45. pp. 243-262.

Davies, W.K.D. (1989); Towards a Conceptual Integration of the Urban System Literature. In: Bourne, L.S., R. Sinclair, M. Ferrer and A. d'Entremont (eds.) (1989); *The changing geography of urban systems, perspectives on the developed and developing worlds*. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Navarra, S.A.. pp. 67.

Deelstra, Tj. (1994a); *Ontwerpprincipes duurzame stedenbouw, een ontwikkelingskader voor nieuwe woongebieden. Deel I, Praktijkvoorbeelden*. Samengesteld door The International Institute for the Urban Environment in opdracht van het Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer.

Deelstra, Tj. (1994b); *Ontwerpprincipes duurzame stedenbouw, een ontwikkelingskader voor nieuwe woongebieden. Deel II, Toepassing*. Samengesteld door The International Institute for the Urban Environment in opdracht van het Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer.

Delemarre, V. (1994); Energiebewust bouwen: er is veel meer mogelijk. In: *ROM Magazine*, jaargang 12, nr. 12, december 1994. pp. 10-12.

Dieleman, F.M. en H. Priemus (1996); De uitdijende Randstad. In: *Geografie*, jaargang 5, nr. 3, april 1996, pp. 41-43.

Dingemanse, P., P. Heerema en H. Puylaert (1995); Wonen in Amsterdam, uitgaan in Parijs, uitrusten in Finland. In: *Geografie*, jaargang 4, nr 3, maart 1995. pp. 25-27.

Droogleever Fortuijn, J. en S. Musterd (1995); De paradox van de mobiliteit in Nederland. In: *Geografie*, jaargang 4, nr. 3, maart 1995, pp. 4-5.

Duijvestein, K. (1988); De energieproblematiek als onderdeel van de milieuproblematiek. In: *Stedenbouw en Volkshuisvesting*, jaargang 69, nr. 11, november 1988, pp. 439-443.

During, R., C. Kwakernaak en L. van der Wal (1995); *Verstedelijking en water in Centraal Nederland. Advies over de rol van water bij de afweging van verstedelijkingsvarianten*. TNO-INRO, Delft. TNO rapport 95-002.

Eo Wijersstichting (1995); *Inside Randstad Holland, Designing the inner fringes of Green Heart Metropolis*. Jury Report. pp. 50/51.

Gezondheidsraad (1994); *Geluid en gezondheid*. Commissie geluid en gezondheid. Den Haag. Publikatie nr. 1994/15.

Goodwin, P.B. (1992); A Review of New Demand Elasticities with Special Reference to Short and Long Run Effects of Price Changes. In: *Journal of Transport Economics and Policy*. Volume XXVI, No. 2, May 1992, pp. 155-163.

Gordijn (1995); Woon-werk-mobiliteit op de lange termijn: zeven scenario's. In: Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer (1995); *Ruimtelijke Verkenningen 1995*. Rijksplanologische Dienst, Den Haag. pp. 54-70.

Groen (red.) (1989); *Milieu: kiezen of verliezen*. Sdu Uitgeverij, 's-Gravenhage. pp. 28.

Grote Winkler Prins Encyclopedie (1980). Achtste geheel nieuwe druk 1980, Elsevier Amsterdam/Brussel.

Handy, S.L. (1992); Regional Versus Local Accessibility, Neo-Traditional Development and its implications for Non-work Travel. In: *Built Environment*, Vol. 18, No. 4, pp. 253-267.

- Harms, W.B., W.C. Knol en R. de Visser (1995); *Verstedelijking en natuur in Centraal Nederland. Een bovenregionale verkenning van ecologische knelpunten en kansen*. DLO-Staring Centrum, Wageningen/Bureau Vista, Amsterdam. Rapport 436.
- Heerema, P.J.J. (1995); Waar naar toe met het personenverkeer? In: Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer (1995); *Ruimtelijke Verkenningen 1995*. Rijksplanologische Dienst, Den Haag. pp. 40-53.
- Hengeveld, H. and G.D. Geldof (1995); Integrated water management in urban areas in the Netherlands, philosophy, approach and cases. In: Engen, H. van, D. Kampe en S. Tjallingii (eds.) (1995); *Hydropolis, the role of water in urban planning*. Backhuys Publishers, Leiden. pp. 94-110.
- Herbert, D.T. en C.J. Thomas (1991); *Cities in space; city as place*. David Fulton Publishers, London.
- Hooimeijer, P. en R. Nijstad (1996); De Randstad als "roltrap-regio". In: *Geografie*, jaargang 5, nr. 3, maart 1996, pp. 5-8.
- Hoving, K. en J. Vriend (1994); Wk-op-maat steekt stadsverwarming de loef af. In: *Gas*, jaargang 114, nr. 10, oktober 1994, pp. 504-505.
- Johnston, R.J., D. Gregory and D.M. Smith (eds.) (1994); *The dictionary of Human Geography*. Third edition. Blackwell Publishers, Oxford, UK/Cambridge, USA.
- Jong, T.M., de en G.Th. Visser (1988); Wind weren, de effecten van stedenbouwkundige maatregelen op het warmteverlies door ventilatie op verschillende stedelijke niveaus. In: *Stedenbouw en Volkshuisvesting*, jaargang 69, nr. 1, januari 1988, pp. 3-10.
- Jong, T.M. de (1996); *Duurzaamheid, architectonische en stedenbouwkundige kwaliteit*. In: Jaarverslag Stimuleringsfonds voor de Architectuur. Rotterdam.
- Jong, T.M. de, M. Dieters en A. Boelen (1996a); *Voorlopige morfologische analyse van twaalf plannen voor de Randstad. Het metropolitane debat*. Stichting MESO, Zoetermeer.
- Jong, R.G. de, H.M.E. Miedema, H. Hendriks, A. Boom en H. Vos (1996b); *Geluid- en geurbelastingen en lokale luchtverontreiniging in Nederland*. TNO Preventie en Gezondheid, Leiden. TNO-rapport 96.011.
- Jong, M.A. de, L.H. Immers, J.W. Houtman en C.W.W. van Lohuizen (1986); *Strategische Studie Randstad*. INRO-TNO, Delft.
- Jonkhof, J.F. (1993); Kringlopen in vorm. In: Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer (1993); *Ruimtelijke Verkenningen 1993*. Rijksplanologische Dienst, Den Haag. pp. 93-112.
- Juijn, P. (1994); Zonne-energie heeft geen extra ruimte nodig. In: *ROM Magazine*, jaargang 12, nr. 12, december 1994. pp. 6.

Kamphuis, H., R. Kuiper, Y. van der Laan en A. van Dortmont (1995); *Plannen met stromen. Ideeën voor de afstemming van ruimtegebruik, water en milieu*. Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer/Rijksplanologische Dienst, Den Haag.

Koning, E. en S.P. Tjallingii (1991); *Ecologie van de stad, een verkenning*. Platform Stadsecologie, Den Haag.

Langeweg, P. en J. Schreuder (1996); Een wenkend perspectief voor de Randstad. In: *Rooilijn*, jaargang 29, nummer 1, januari 1996, pp. 22-27.

Lemmers, L. (1995); *Na de VINEX. Effectenvergelijking bouwlocaties 2005-2015*. DHV Milieu en Infrastructuur BV, Amersfoort.

Louw, E. (1991); *Technologische megatrends en de geografische en temporele relatie wonen-werken*. Stedelijke Netwerken, Werkstukken 32. Onderzoeksinstituut voor Technische Bestuurskunde, Technische Universiteit Delft.

Matton, T. (1992); *Milieu-effecten van geconcentreerd bouwen*. Monografieën Milieuplaning/SOM 12. Publikatieburo Bouwkunde. Faculteit der Bouwkunde/Technische Universiteit Delft.

McLaren, D. (1992); Compact or Dispersed? Dilution is No Solution. In: *Built Environment*, Vol. 18, No. 4., pp. 268-284.

Ministerie van Economische Zaken (1993); *Vervolgnota Energiebesparing*. Sdu uitgeverij, Den Haag.

Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij (1995); *Visie Stadslandschappen*. Deelrapporten Ecologie-inclusieve planning (1995a) en Stadslandbouw (1995b).

Ministerie van Verkeer en Waterstaat (1995a); *Visie op verstedelijking en mobiliteit: een bouwsteen voor de actualisering van het ruimtelijk beleid na 2005*. Den Haag.

Ministerie van Verkeer en Waterstaat (1995b); *Ontwikkelingen en trends in het vrijetijdsvverkeer*. Samenstelling en redactie: MuConsult BV en Adviesdienst Verkeer en Vervoer.

Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer (1990); *Vierde Nota Ruimtelijke Ordening Extra, deel 4: Planologische Kernbeslissing Nationaal Ruimtelijk Beleid*. Den Haag.

Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer (1994); *Ruimtelijke verkenningen 1994, Balans van de Vierde Nota Ruimtelijke Ordening (Extra)*. Rijksplanologische Dienst, Den Haag. pp. 88-123.

Nelissen, N.J.M. (1994); Het themagericht milieubeleid. In: P. Glasbergen (red.) (1994); *Milieubeleid. Een beleidswetenschappelijke inleiding*. Vierde herziene druk. VUGA Uitgeverij B.V., 's-Gravenhage. pp. 59-77.

- Newman, P.W.G. and J.R. Kenworthy (1996); The land use-transport connection; an overview. In: *Land Use Policy*, Vol. 13, Nr. 1, January 1996, pp. 1-22.
- Ottens, H.F.L. (1989); *Verstedelijking en stadsontwikkeling*. Van Gorcum, Assen/Maastricht. pp. 47.
- Owens, S. (1986); *Energy, Planning and Urban Form*. Pion Limited, London.
- Owens, S. (1992); Energy, Environmental Sustainability and Land-use Planning. In: Breheny, M.J. (Ed.) (1992); *Sustainable Development and Urban Form*. Pion Limited, London. pp. 79-105.
- Priemus, H. (1996); De Randstad in het spanningsveld tussen urbanisatie en suburbanisatie. In: *Rooilijn*, jaargang 29, nr. 1, januari 1996, pp. 28-32.
- Raad voor het Milieu- en Natuuronderzoek (1990); *De versnippering van het Nederlandse landschap. Onderzoeksprogrammering vanuit zes disciplineaire benaderingen*. Publikatie RMNO nr. 45.
- Reijs, Th.A.M., L.J.J. van der Wal en P.P. Witsen (1996); *Een afwegingskader voor duurzame verstedelijkingsplannen*. TNO-INRO, Delft. Rapport nr. P96-008.
- Rickaby (1987); Six settlement patterns compared. In: *Environment and Planning B, Planning & Design*, Vol. 14., No. 2, pp. 193-223.
- Rietveld, P. and W. Stam (1992); Randstad infrastructure: its use and its deficiencies. In: F.M. Dieleman and S. Musterd (eds.) (1992); *The Randstad: A Research and Policy Laboratory*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht/Boston/London. pp. 141-164.
- Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne (1991); *Nationale Milieuverkenning 2, 1990-2010*. Samsom H.D. Tjeenk Willink bv, Alphen aan den Rijn. pp. 144-163, 184-213, 401-427, 347-367.
- Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne (1993); *Nationale Milieuverkenning 3, 1993-2015*. pp. 142-145.
- Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (1995); *Achtergronden bij: Milieubalans 1995*. Samsom H.D. Tjeenk Willink bv, Alphen aan den Rijn. pp. 298.
- Rijksplanologische Dienst (1994); *Verkenning verstedelijkingsalternatieven Stedenring* (niet gepubliceerd).
- Rijksplanologische Dienst, Afdeling Thematische Planvorming (1995); *Werkdocument DOSS*. Den Haag.

Rooijers, F.J., G.C. Bergsma, L.B.M.M. Boels en J. Verlinden (1993); *Grootschalige warmtelevering in de bestaande bouw. Het potentieel in de woningbouw en de utiliteitsbouw*. Centrum voor Energiebesparing en Schone Technologie, Delft. Rapport en kaartbijlagen.

Rossem, V. van (1994); *Randstad Holland. Variaties op het thema stad*. NAI Uitgevers, Rotterdam.

Schöne, M.B. en B. Strootman (1990); Landschapsarchitectonische benadering van versnippering. Gevolgen van versnippering voor de ruimtelijke opbouw van het landschap. In: Raad voor het Milieu- en Natuuronderzoek (1990); *De versnippering van het Nederlandse landschap. Onderzoeksprogrammering vanuit zes disciplinaire benaderingen*. Publikatie RMNO nr. 45. pp. 265-301.

Schuur, J.F. (1993); Ruimte voor afval. In: Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer (1993); *Ruimtelijke Verkenningen 1993*. Rijksplanologische Dienst, Den Haag.

SEP (1996); *Verslag over het jaar 1995*. N.V. Samenwerkende Elektriciteits-productiebedrijven. pp. 36.

Smit, L. en S. Musterd (1995); De dynamiek van wonen en werken. In: *Geografie*, jaargang 4, nr 2, maart 1995, pp. 6-9.

Spakman, J. (1995); *Dilemma bij VINEX-locaties: warmte of gas?* (niet gepubliceerd).

Struijlaart, H. (1993); *Prisma van de geografie*. Uitgeverij Het Spectrum B.V. Utrecht.

Tamis, W., H.A. Udo de Haes en W.J. ter Keurs (1994); Milieubiologie. In: Boersema, J.J., J.W. Copius Peereboom en W.T. de Groot (red.) (1994); *Basisboek Milieukunde*. Boom, Meppel. pp. 171-191.

Tjallingii, S.P. (1992); *Ecologisch verantwoorde stedelijke ontwikkeling*. Studie in opdracht van de Rijksplanologische Dienst in samenwerking met het Directoraat-Generaal Milieubeheer en de gemeenten Breda, Dordrecht en Zwolle. Instituut voor Bos- en Natuuronderzoek, Wageningen.

Udo de Haes, H.A. (1994); Milieukunde, begripsbepaling en afbakening. In: Boersema, J.J., J.W. Copius Peereboom en W.T. de Groot (red.) (1994); *Basisboek Milieukunde*. Boom, Meppel. pp. 1-34.

Ven, F.H.M. van de (1991); Van hydrofoob tot hydrofiel. De waterhuishouding van de stad van morgen. In: *Stedebouw en Volkshuisvesting*, jaargang 72, extra nummer, mei 1991, pp. 26-32.

Verroen, E.J., H.D. Hilbers en C.A. Smits (1995); *Modeltoets Randstadvisie: de resultaten*. TNO-INRO, Delft. TNO rapport 95/NV/124.

Vos, R.J.C. de (1995); Warmtedistributie favoriet in VINEX-projecten. In: *Energie- en Milieuspectrum*, nr. 6/7, juni/juli 1995.

Wal, L.J.J. van der (1994); *Ecologische planning in een stedelijke regio*. TNO-INRO, Delft.

Wee, G.P. van (1993); *Locatiebeleid en ruimtelijke ordening: de effecten op verkeer en vervoer*. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne. RIVM rapport nr. 251701-010.

Wee, G.P. van (1995); De baten van het verkeers- en vervoersysteem. In: *Verkeerskunde* nr. 7/8 1995, pp. 14-15.

Wee, G.P. van en T. van der Hoorn (in voorbereiding); *Invloed ruimtelijke ordening op verkeer en vervoer: scenariostudies vergeleken*. In: Tijdschrift Vervoerswetenschap (geaccepteerd; te verschijnen in 1997).

Werkgroep EROMOBIL (1989); *Wisselwerking van ruimtelijke inrichting en mobiliteit in de Randstad; een verkenning van een nieuwe aanpak*.

Zuurdeeg (1996); Lezing PHLO cursus "*Watersystemen in stedelijk gebied: de integrale aanpak*" (niet gepubliceerd).

LIJST VAN GECONSULTEERDE PERSONEN

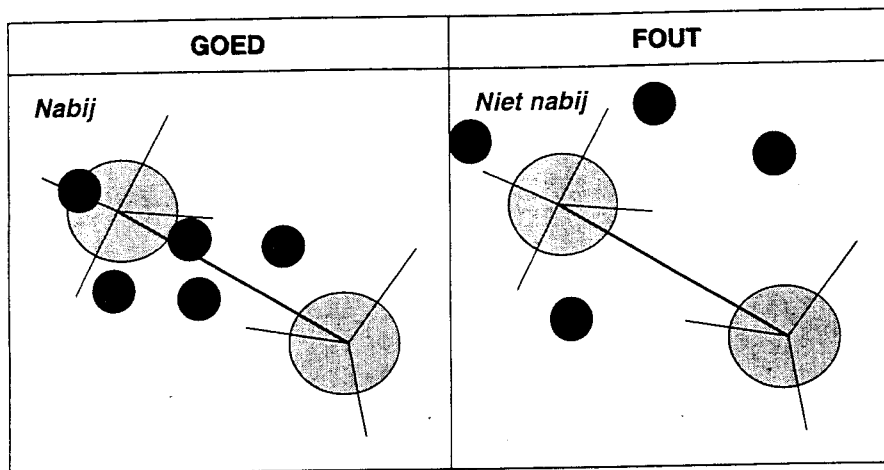
Ir. G.C. Bergsma (Centrum voor Energiebesparing en Schone Technologie)
Ing. G.P. Beugelink (RIVM)
Mw. ir. V. Geelen (RPD)
Mw. ir. I. Houtsma (RPD)
Prof. dr. ir. T.M. de Jong (TU Delft)
Ir. A. van der Linden (RIVM)
Dr. ir. C.R. Meinardi (RIVM)
Drs. D. Nagelhout (RIVM)
Ir. D. de Smit (DHV-Water)
Drs. S.P. Tjallingii (IBN-DLO)
Drs. K. van Velze (RIVM)
Dr. ir. F.H.M. van de Ven (TU Delft)
Ir. J. Verlinden (Centrum voor Energiebesparing en Schone Technologie)
Ir. E.J. Verroen (TNO-INRO)
Drs. G.P. van Wee (RIVM)
Ing. N. Zuurdeeg (IKC-Natuurbeheer)

BIJLAGEN

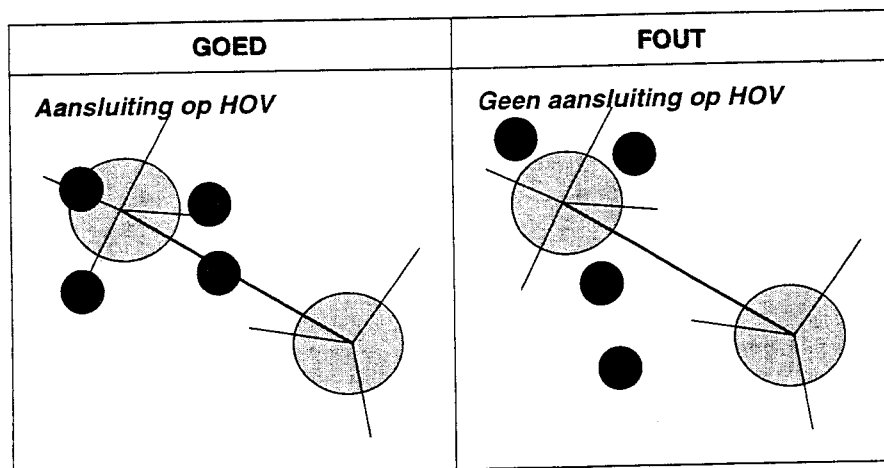
Bijlage 1 Kritische ontwerpdimensies

Hieronder zijn de door Verroen e.a. (1995) onderscheiden "kritische ontwerpdimensies" schematisch weergegeven, waarbij met "goed" is aangegeven hoe de meest gunstige mobiliteitseffecten kunnen worden bereikt. Het mobiliteitsbeperkende effect van bundeling (figuur d) is overigens gering (0,2 procent in Brabant/Gelderland). In de Randstad kan het effect van bundeling niet goed worden aangegeven. Uit figuur e blijkt dat eenkernig georiënteerde locaties nabij bestaande steden het soms slechter doen dan verder weg gelegen meerkernige locaties met een gunstige positie langs openbaar vervoer-assen tussen steden. Dit effect treedt in de Randstad op.

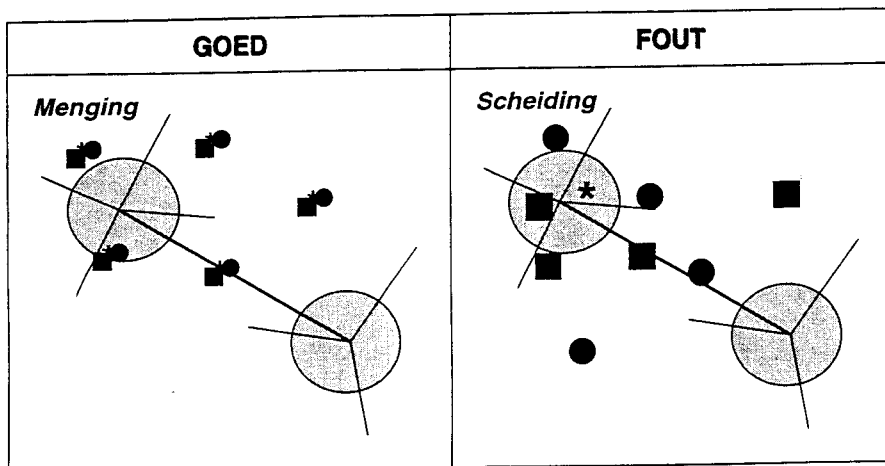
a. Nabijheid



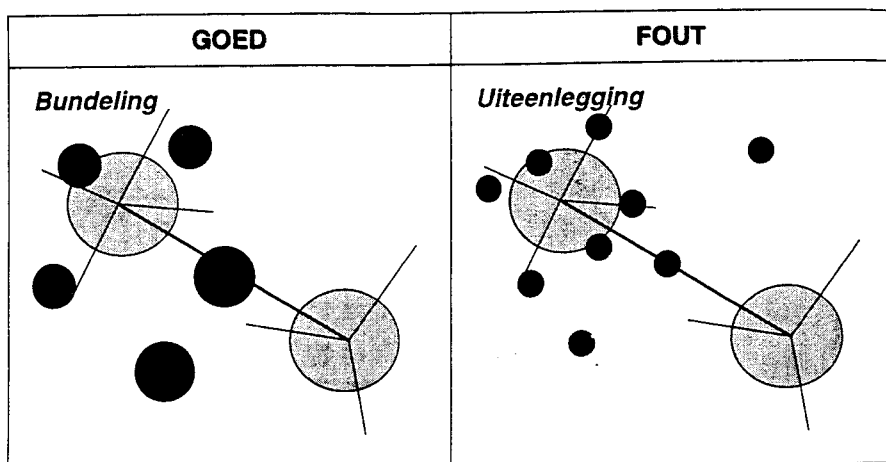
b. Aansluiting op hoogwaardig openbaar vervoer



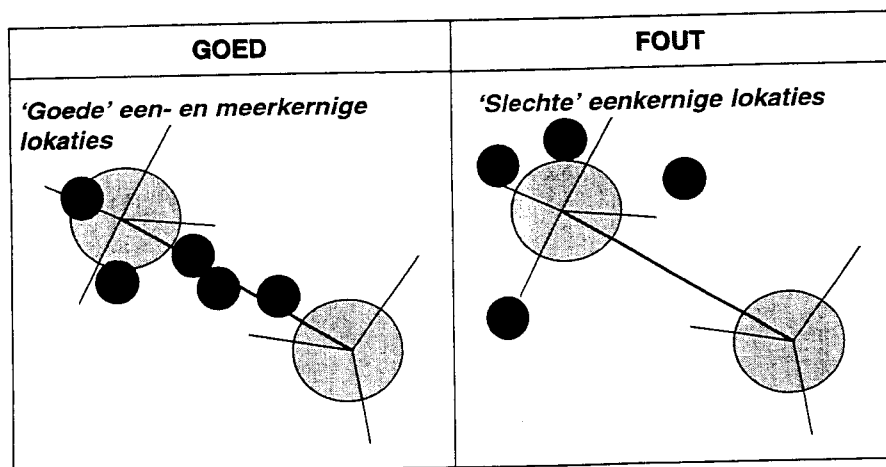
c. Menging versus scheiding van functies



d. Bundeling versus uiteenlegging



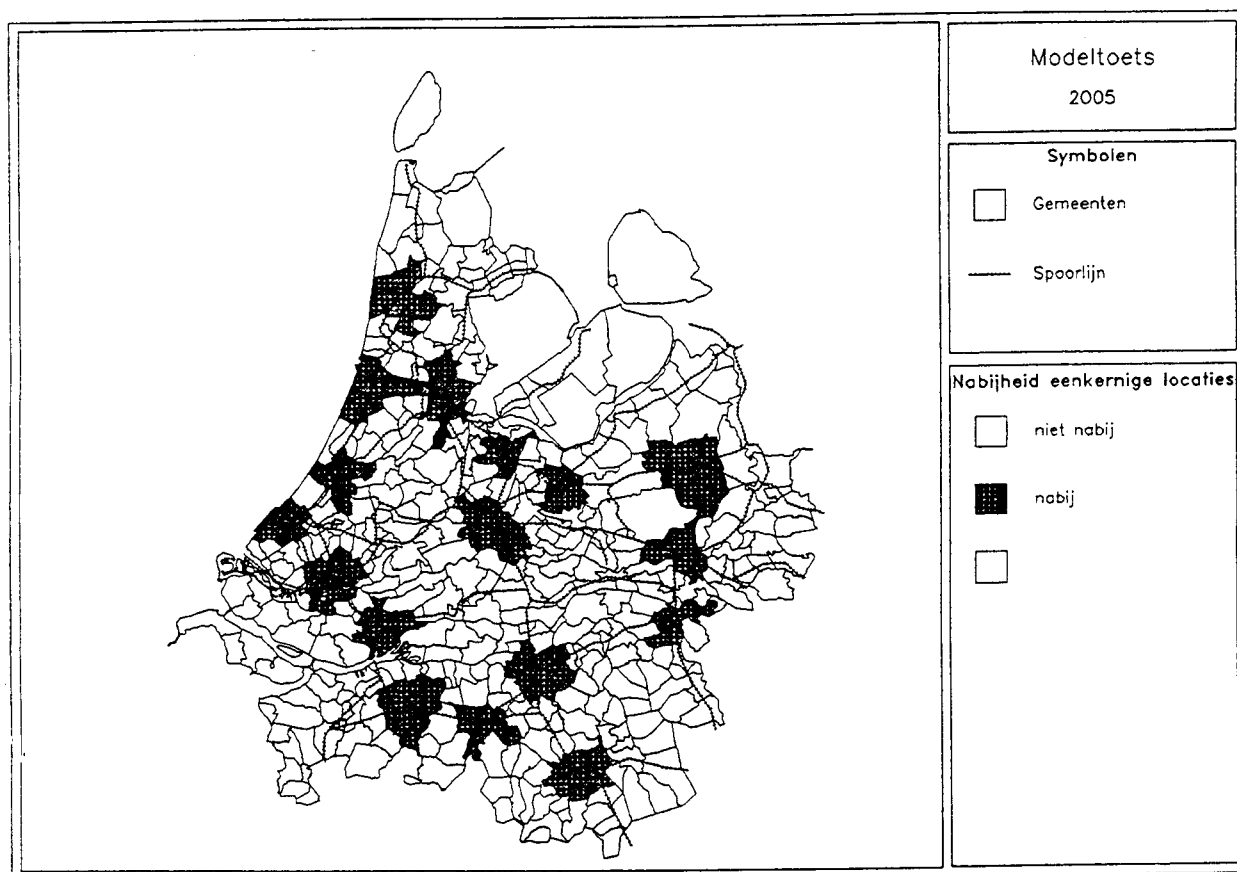
e. Eenkernige versus meerkernige oriëntatie



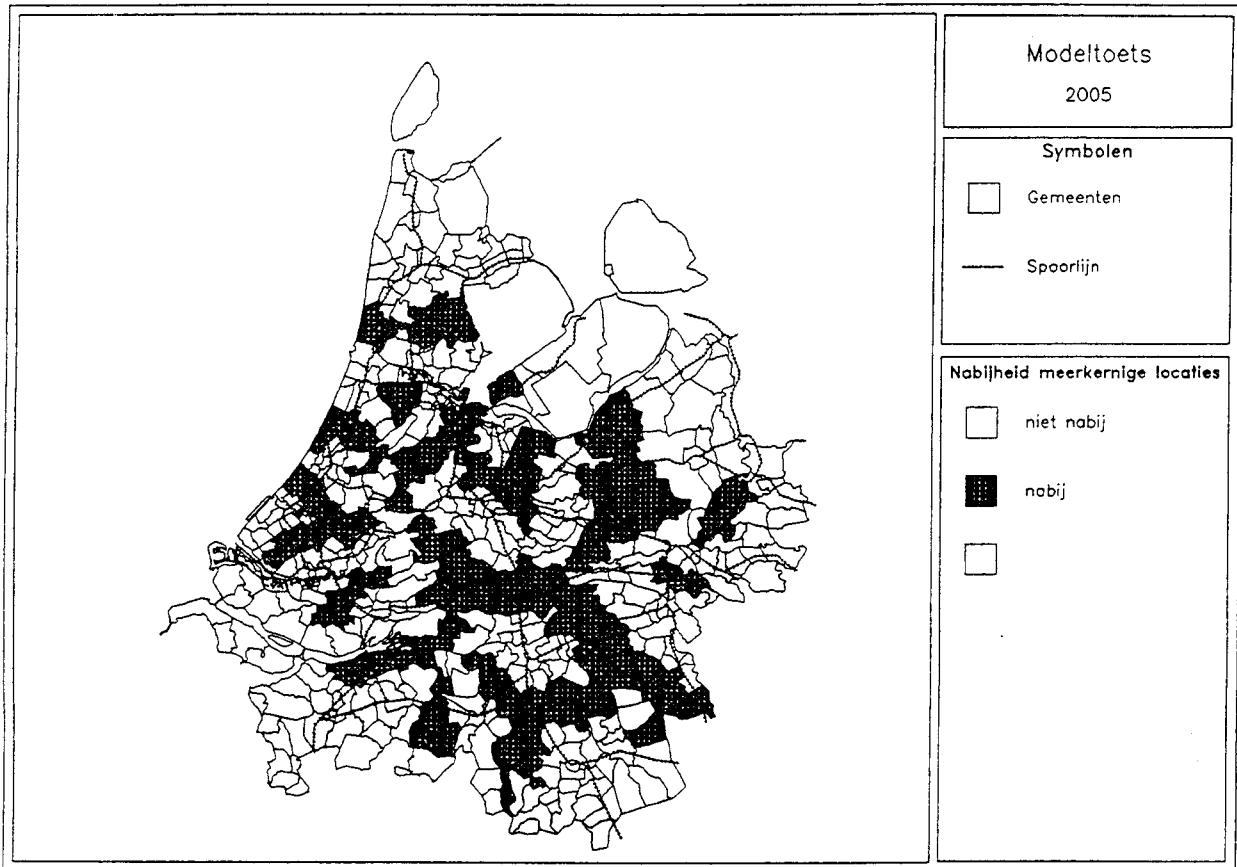
Bijlage 2 Ruimtelijk beeld eenkernige en meerkernige nabijheid en aansluiting op hoogwaardig openbaar vervoer

Onderstaande kaarten zijn afkomstig uit Verroen e.a. (1995). In de figuren zijn de locaties die voldoen aan enkele "kritische ontwerpdimensies" weergegeven. De ontwerpdimensie "nabijheid" is in de kaarten gecombineerd met de ontwerpdimensies "eenkernige oriëntatie" en "meerkernige oriëntatie". De ontwerpdimensie "aansluiting op hoogwaardig openbaar vervoer" is wel in een afzonderlijke kaart weergegeven. De ontwerpdimensie "nabijheid" kan worden opgevat als nabijheid met eenkernige oriëntatie, waarbij direct aansluitend op het bestaande stedelijk gebied wordt gebouwd, of als meerkernige nabijheid, waarbij tussen stadsgewesten wordt gebouwd. Dit is dus een verruiming van de definitie van nabijheid in de VINEX, die alleen uitgaat van eenkernige nabijheid. In Brabant/Gelderland scoren de eenkernig georiënteerde nabije locaties het best wat betreft beperking van de mobiliteit, in de Randstad de meerkernig georiënteerde nabije locaties. Omdat ook aansluiting op hoogwaardig openbaar vervoer van belang is kan niet direct uit de kaart worden afgelezen welke locaties voor de mobiliteit het meest gunstig zijn. Bij aansluiting op hoogwaardig openbaar vervoer wordt gedacht aan nabijheid tot interlokale treinverbindingen en zware stedelijke railverbindingen (metro, sneltram) in de grote stadsgewesten en gebundelde busverbindingen in de overige stadsgewesten (Verroen e.a., 1995).

Ruimtelijk beeld eenkernige nabijheid



Ruimtelijk beeld meerkernige nabijheid



Ruimtelijk beeld aansluiting op hoogwaardig openbaar vervoer

