

## DEEL 2: NETWERKONTWERP EN INFRASTRUCTUUR- PLANNING

In dit tweede deel staat ontwerpen centraal en met name de vraag hoe we de bereikbaarheid kunnen verbeteren door netwerken aan te passen. Achtereenvolgens komen aan bod:

- Netwerkontwerpprobleem
- Methodiek voor het ontwerpen van regionale netwerken
- Infrastructuurplanning

<b>DEEL 2: NETWERKONTWERP EN INFRASTRUCTUURPLANNING</b>	<b>1</b>
<b>1 NETWERKONTWERP</b>	<b>3</b>
1.1 Het ontwerpen van een verkeersnetwerk	3
1.2 Ontwerpdilemma's	5
1.3 Bundeling en hiërarchie	7
1.4 Uitbouw van netwerken	9
<b>2 ONTWERPMETHODIEK VOOR REGIONALE NETWERKEN</b>	<b>11</b>
2.1 Inleiding ontwerpmethodiek voor regionale netwerken	11
2.2 Uitgangspunten ontwerpmethodiek	11
2.3 Vuistregels voor de belangrijkste kenmerken van de vervoersystemen	12
2.4 Schema ontwerpstappen	14
2.5 Verstedelijkingsniveaus	16
2.6 Kernenhiërarchie	16
2.7 Gewenste verbindingen	17
2.8 Ideaaltypisch net	18
2.9 Analyse bestaand net	21
2.10 Ontwerpen reële netwerken	23
<b>3 INFRASTRUCTUURPLANNING</b>	<b>30</b>
3.1 Inleiding	30
3.2 De zeefanalyse	30
3.3 Het aanbrengen van een cellulair grid	31
3.4 Potential surface analysis	32
3.5 Bepaling effecten van alternatieven	39
3.5.1 Milieu-effecten	39
3.5.2 Verkeersveiligheid	44
3.5.3 Economische effecten	46

## 1 NETWERKONTWERP

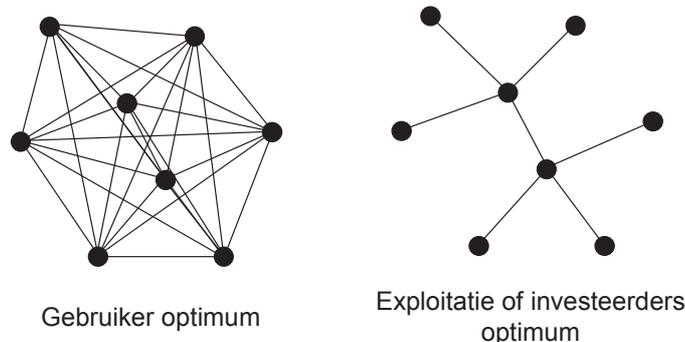
### 1.1 Het ontwerpen van een verkeersnetwerk

#### *Complexiteit en probleemtipes*

Het kernprobleem bij netwerkontwerp is het zoeken naar een netwerk dat zo goed mogelijk voldoet aan bepaalde doelstellingen. Aan de ene kant zijn er beslissingsvariabelen die bepalend zijn voor het netwerk, bijvoorbeeld schakels, lijnen, capaciteiten of frequenties, en aan de andere kant een doelstelling waarmee het netwerk wordt beoordeeld. Daarnaast kan er sprake zijn van specifieke randvoorwaarden zijn waaraan moet worden voldaan.

Op het eerste oog lijkt dit simpel. Het netwerkontwerpprobleem staat echter bekend als een lastig probleem. Een karakteristiek dat het probleem ingewikkeld maakt is de combinatoriek. Als de beslissingsvariabele eenvoudig beperkt blijft tot het wel of niet opnemen van een schakel in een netwerk, wordt het aantal mogelijke oplossingen al snel erg groot. Een voorbeeld. Bij 4 knooppunten zijn in principe 6 schakels mogelijk. Om alle knooppunten met elkaar te verbinden zijn minimaal 3 schakels noodzakelijk. Het aantal mogelijke combinaties van 3, 4, 5, en 6 schakels bedraagt 42. Bij 6 knooppunten wordt het aantal mogelijke schakels al 15 en het aantal netwerken meer dan 30.000. Het aantal mogelijke oplossingen wordt dus al snel erg groot. Het zal duidelijk zijn dat als de beslissingsvariabelen meer waarden kan aannemen dan wel/niet in het netwerk opnemen, zoals bij capaciteiten, het aantal mogelijkheden nog groter wordt. Bij openbaar vervoernetwerken komt daarbij nog het feit dat bij elk mogelijk schakelnetwerk weer heel veel lijnennetwerken mogelijk zijn.

Naast de combinatoriek zijn er nog twee aspecten die het netwerkontwerpprobleem complex maken. De eerste volgt uit de verschillende partijen die met het netwerk te maken hebben, met name de gebruiker versus de investeerder of exploitant (Figuur 1.1). Vanuit de optiek van de reiziger is het feitelijk simpel: een goed netwerk heeft directe verbindingen tussen elke herkomst en bestemming. En als het om openbaar vervoer gaat, graag met een hoge frequentie. De investeerder en exploitant, aan de andere kant, willen het netwerk graag zo klein mogelijk houden, oftewel zo min mogelijk schakels of lijnen en met zo laag mogelijke frequentie.

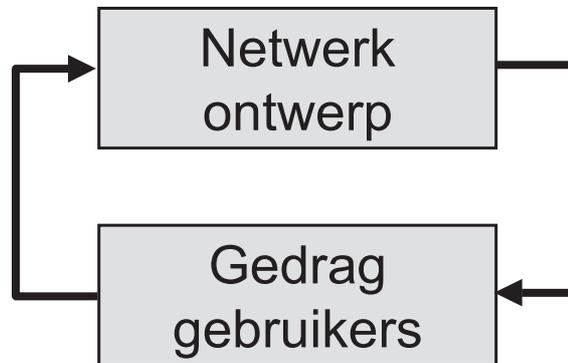


FIGUUR 1.1 VERSCHIL TUSSEN OPTIMUM VOOR GEBRUIKERS EN VOOR EXPLOITANTEN OF INVESTEERDERS

Dit is natuurlijk een zwart-wit beeld, maar het illustreert duidelijk dat het gaat om een balans tussen beide optieken. De sleutel hiervoor zit in de doelstelling die voor het netwerkontwerp wordt gebruikt, eventueel in combinatie met randvoorwaarden. Hiervoor kunnen drie mogelijkheden worden onderscheiden:

1. De doelstellingsfunctie brengt de belangen van beide partijen in balans, bijvoorbeeld gebaseerd op economische principes als welvaartsmaximalisatie of minimalisatie totale kosten.
2. De doelstellingsfunctie heeft betrekking op één partij, meestal de gebruiker, en de belangen van de andere partij komen naar voren in de randvoorwaarden. Een voorbeeld hiervan is het minimaliseren van reistijden bij een gegeven budget.
3. De derde mogelijkheid richt zich ook op één partij maar houdt tegelijkertijd rekening met de reacties van de andere partij. Een typisch voorbeeld is winstmaximalisatie waarbij (natuurlijk) rekening wordt gehouden met de invloed van het netwerk op het gebruik van het netwerk.

Bij deze laatste optie is het tweede aspect dat bijdraagt aan de complexiteit al enigszins beschreven: de sterke afhankelijkheid tussen het netwerk en het netwerkgebruik. Vaak wordt het netwerkontwerpprobleem beschreven als een Stackelberg-spel, waarin sprake is van een beslisser, de netwerkontwerper, die volledige kennis heeft over het gedrag van de andere partij in het spel, de gebruikers, en deze kennis ook gebruikt om zijn doelstellingen te bereiken (Figuur 1.2).



FIGUUR 1.2: HET NETWERKONTWERPPROBLEEM ALS EEN STACKELBERG SPEL

In zo'n Stackelberg spel zijn twee problemen te onderscheiden. Het bovenste probleem betreft het netwerkontwerp zelf. Het zogenaamde onderste probleem gaat over de manier waarop de gebruikers reageren op een ontworpen netwerk. Leidt dat tot meer gebruik of tot minder, en welke routes worden wel en niet gebruikt? Zo'n spel kan worden gezien als een iteratief proces waarin de beslisser het netwerk wijzigt en kijkt hoe de gebruikers reageren en aan de hand daarvan het netwerk verder aanpast. Het netwerk is dus afhankelijk van het gebruik maar het gebruik hangt weer af van het netwerk. Een soort kip-ei probleem dus. Het onderste probleem kan erg complex zijn. In feite is dat de gehele cirkel van Wegener zoals die in het vorige deel is besproken!

Om deze laatste complexiteit te reduceren wordt vaak een aantal beperkingen gebruikt bij de beschrijving van het gedrag van de gebruikers:

1. Het aantal gebruikers blijft constant. Er wordt dan verondersteld dat het gebruik primair afhankelijk is van bijvoorbeeld de ruimtelijke structuur of dat de gebruikers geen alternatieven hebben;
2. De capaciteit heeft geen invloed op het gebruik. Hierbij is de veronderstelling dat of het gebruik van het netwerk nergens tot capaciteitsproblemen leidt of dat te allen tijde voor voldoende capaciteit wordt gezorgd.

Beide vereenvoudigingen maken het netwerkontwerpprobleem hanteerbaarder. Het is echter wel belangrijk te controleren of ze achteraf gezien nog steeds acceptabel zijn.

#### Probleemtypen

Ten slotte zijn er bij netwerkontwerp twee typen ontwerpproblemen te onderscheiden

1. Nieuwe netwerk. Gegeven een verzameling van toegangspunten wordt een nieuw netwerk ontworpen. Gevaar hierbij is dat het nieuwe netwerk sterk afwijkt van wat al bestaat. Dit speelt vooral bij verkeersnetwerken en in mindere mate bij vervoerdienstnetwerken;
2. Verbeteren bestaand netwerk. Hierbij gaat het om uitbreidingen van het netwerk, schakels en capaciteiten. Risico hierbij is dat zwakke plekken in het huidige netwerk als uitgangspunt worden gehanteerd.

In de praktijk zal vooral het tweede type relevant zijn. Grote veranderingen die een geheel nieuw ontwerp tot gevolg heeft zijn toch niet mogelijk, denkt men. Toch is het zinnig zo nu en dan ook het netwerk als een geheel te ontwerpen. Op die manier wordt duidelijk gemaakt waar de structurele knelpunten in het netwerk zitten.

## 1.2 Ontwerpdilemma's

In het hoofdstuk over netwerken zijn diverse netwerkkarakteristieken belicht. Wanneer er een ontwerp gemaakt wordt, dan worden aan deze 'ontwerpvariabelen' waarden toegekend. Hierbij treden echter ontwerpdilemma's op: factoren die elkaar tegenwerken waardoor een optimaal netwerk niet eenvoudig kan worden bepaald. Door het maken van een ontwerp wordt een bepaalde positie in de ontwerpdilemma's ingenomen.

In Tabel 1.1 staat een geordende set van ontwerpdilemma's weergegeven. De ordening van de ontwerpdilemma's houdt in, dat een keuze in elk ontwerpdilemma in principe als randvoorwaarde dient voor het volgende ontwerpdilemma. De dilemma's moeten dus in beginsel in de aangegeven volgorde worden afgewerkt (waarbij uiteraard terugkoppelingen mogelijk zijn). Deze dilemma's gelden voor het gehele personenvervoersysteem, dus zowel individueel als collectief, en voor alle schaalniveaus.

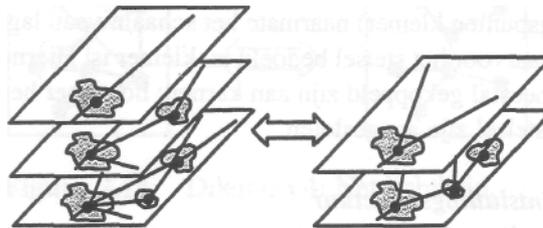
dilemma	tegenstrijdige variabelen
1 aantal stelsels	functionele differentiatie <-> kostenbesparing
2 toegansdichtheid	Verbindingskwaliteit <-> toegankelijkheid
3 ontsluitingsstructuur	Toegankelijkheid <-> differentiatie in gebruik
4 netdichtheid	Verbindingskwaliteit <-> kostenbesparing
5 realiteitswaarde	optimalisatie kwaliteit <-> kostenbesparing

TABEL 1.1 OVERZICHT ONTWERPDILEMMA'S [EGETER ET AL., 2002]

Onderstaand worden deze dilemma's kort toegelicht.

### Dilemma 1: Aantal stelsels

Het totale vervoeraanbod wordt opgebouwd uit een aantal stelsels, waarbij elk stelsel gekenmerkt wordt door organisatievorm (individueel, collectief) en schaalniveau (snelheden, afstandsklassen). De achtergrond hiervan is, dat door een onderverdeling in stelsels het vervoeraanbod beter kan worden afgestemd op de verschillende functies die het moet vervullen. Hoe meer stelsels, hoe beter elk stelsel kan worden toegesneden op een functie, anders gezegd: hoe meer functionele differentiatie in het vervoeraanbod. Daar staat tegenover dat minder stelsels vaak leiden tot kostenbesparing, doordat de beschikbare capaciteit efficiënter wordt gebruikt.



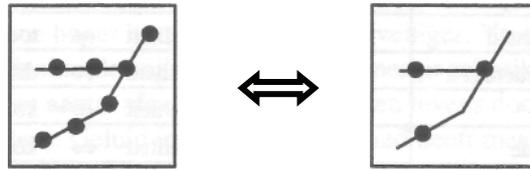
FIGUUR 1.3 DILEMMA 1: AANTAL STELSELS.

Een voorbeeld van dit dilemma is het zgn. drietreinensysteem: de opdeling van trein-diensten in drie schaalniveaus: intercity, sneltrein en stoptrein. De achtergrond hiervan is dat reizigers met verschillende verplaatsingsafstanden toch een passend treinproduct krijgen geboden. Uit kostenbesparingsoverwegingen zou een homogeen treinproduct echter de voorkeur hebben: men heeft dan minder treinen nodig om een aantrekkelijke frequentie te kunnen bieden, en minder infrastructuur (bijvoorbeeld geen viersporigheid) om de treindiensten te kunnen afwickelen. Overeenkomstige voorbeelden zijn ook te vinden voor individueel vervoer (korte- en langeafstandsverkeer over dezelfde weg, of het ontvlechten tot twee verschillende wegen). Veelal zal het zo zijn dat het aantal schaalniveaus in het vervoersysteem groter kan zijn, naarmate de verstedelijkingsgraad groter is. Zo zal men in de Randstad er eerder toe overgaan het wegennet te ontvlechten dan in Oost-Groningen.

### Dilemma 2: Toegansdichtheid

Binnen een stelsel bestaat het dilemma tussen veel of weinig toegangspunten. Hoe meer toegangspunten een stelsel heeft, hoe beter de *toegankelijkheid* van dat stelsel is, en dus hoe minder voor- en natransport over onderliggende (dus langzamere) stelsels nodig is. Daar staat tegenover dat de *verbindingskwaliteit* over het stelsel (dus: hoe snel, betrouwbaar en gemakkelijk

kom ik van het ene naar het andere toegangspunt) gediend is bij zo weinig mogelijk toegangspunten.



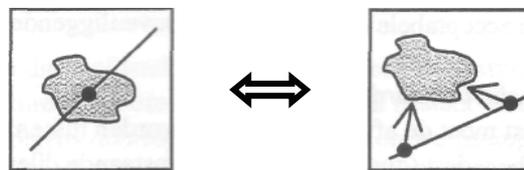
FIGUUR 1.4 DILEMMA 2: TOEGANGSDICHTHEID

Dit dilemma speelt een dominante rol binnen het openbaarvervoersysteem, omdat bij (bijna) ieder toegangspunt (halte of station) gestopt moet worden. Dit is bijvoorbeeld de achtergrond van het onderscheid tussen stop- en sneltreinen. Maar ook bij het individuele vervoersysteem speelt dit dilemma een rol: een autosnelweg met veel op- en afritten heeft een relatief lage verbindingskwaliteit, doordat zo'n snelweg veel gebruikt zal worden door regionaal en lokaal verkeer. Ook leidt elke op- en afrit tot turbulenties in de verkeersstroom.

In het algemeen is het zo dat de toegangsdichtheid groter zal zijn (ofwel de afstand tussen de toegangspunten kleiner) naarmate het schaalniveau lager is, en dus de verplaatsingsafstand waarvoor het stelsel bedoeld is, kleiner is. Hiermee hangt samen dat toegangspunten meestal gekoppeld zijn aan kernen; hoe lager het schaalniveau, hoe meer kernen op het stelsel zijn aangesloten.

### Dilemma 3: Ontsluitingsstructuur

Naast het vaststellen van het aantal toegangspunten, speelt ook de vraag naar de ontsluitingsstructuur van de kern: legt men een toegangspunt in het midden (zoals meestal bij de trein gebeurt) of plaatst men de toegangspunten aan de rand van de kern (zoals meestal bij het wegennet gebeurt), en wat moet dan de afstand tot het centrum zijn. Het plaatsen van het toegangspunt midden in het stedelijk gebied maximaliseert de *toegankelijkheid*. Het leidt er echter ook toe, dat een stelsel aantrekkelijk wordt voor verplaatsingsafstanden die lager zijn dan waarvoor het stelsel bedoeld is: de beoogde *differentiatie in het gebruik*. De grondslag voor het onderscheiden van verschillende stelsels, neemt af. Daarnaast leidt een ontsluitingsstructuur die penetreert in het stedelijk gebied vaak tot hogere kosten en meer omgevingshinder.



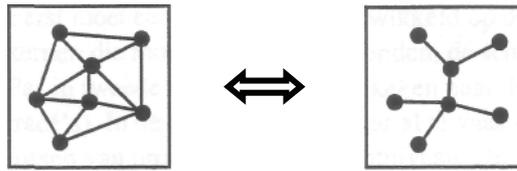
FIGUUR 1.5 DILEMMA 3: ONTSLUITINGSSTRUCTUUR

Hoewel dit dilemma in principe zowel speelt voor collectief als voor individueel vervoer, is de uitkomst voor beide typen stelsels verschillend:

- Bij *collectief vervoer* liggen de toegangspunten bij voorkeur midden in het stedelijk gebied. De voornaamste reden hiervan is dat iedere overgang tussen stelsels (dus ook voor- en natransport) altijd de noodzaak heeft tot een fysieke transfer (het wisselen van voertuig) met de bijbehorende ongemakken. Anderzijds leidt het centraal ontsluiten van kernen bij openbaar vervoer tot minder hinder dan bij het individueel vervoer.
- Bij *individueel vervoer* liggen de toegangspunten bij voorkeur op enige afstand van de kern. De overgang op het onderliggende wegennet verloopt vrijwel weerstandsloos, en de hinder van wegontsluitingen in stedelijk gebied is relatief groot. Op deze manier wordt ook 'ongewenst' gebruik van wegen over te korte afstanden voorkomen.

### Dilemma 4: Netdichtheid

Als eenmaal bekend is welke kernen een stelsel moet verbinden, dan blijft nog de vraag of deze kernen met veel of met weinig directe schakels verbonden moeten worden. Hoe meer schakels, hoe beter de *verbindingskwaliteit*: de omwegfactoren zijn kleiner. Echter, bij openbaar vervoer maakt bundeling op een gering aantal schakels hogere frequenties mogelijk. Uit oogpunt van *kostenbesparing* is ook een zo laag mogelijke netdichtheid gewenst. Kostenbesparing wordt hier overigens niet alleen in financiële zin opgevat: ook het minimaliseren van de aantasting van natuur en leefomgeving vallen eronder.



FIGUUR 1.6 DILEMMA 4: NETDICHTHEID.

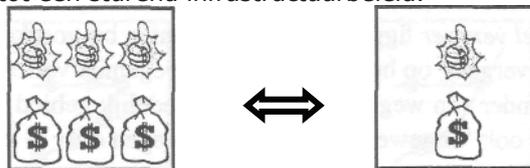
Dit dilemma speelt in gelijke mate bij individueel en collectief vervoer. Wat echter wel een belangrijke rol speelt, is de aanwezige infrastructuur in de uitgangssituatie. Aanleg van nieuwe infrastructuur is een kostbare zaak. Dit geldt in mindere mate als volstaan kan worden met functieverandering van bestaande infrastructuur.

De acceptabele netdichtheid hangt primair samen met twee factoren:

- de totale hoeveelheid vervoer: hoe groter de vervoerstromen in een gebied zijn, hoe eerder het acceptabel is om extra infrastructuur aan te leggen, en
- de kwaliteitsverhouding tussen het beschouwde stelsel en het onderliggende stelsel: hoe meer verschil in kwaliteit er is tussen de schaalniveaus in het vervoersysteem, hoe groter de acceptabele omweg over het bovenliggende stelsel is.

**Dilemma 5: Realiteitswaarde**

Last but not least moet de afweging gemaakt worden tussen een netwerkontwerp dat het ideale netwerk benadert (dus waar in alle bovenstaande dilemma's de 'optimale' keuze wordt gemaakt), en een minder ideaal, maar wel realistischer en haalbaarder netwerk. Het verschil tussen beide zit hem vooral in de kosten van nieuwe infrastructuur. Het kan echter ook een verschil in tijdshorizon zijn: op korte termijn zal men in het algemeen de voorkeur geven aan relatief kleine, en dus realistische en haalbare ingrepen in een netwerk. Deze dienen echter geplaatst te zijn in een langetermijnperspectief dat meer in de richting gaat van een ideale structuur (waar ook de ontwikkeling van de ruimtelijke structuur aan gekoppeld dient te zijn). Het ontbreken van zo'n langetermijnvisie leidt tot een onsamenvattende, vraagvolgende knelpuntenaanpak en biedt weinig aanknopingspunten tot een sturend infrastructuurbeleid.



FIGUUR 1.7 DILEMMA 5: REALITEITSWAARDE

**1.3 Bundeling en hiërarchie**

In het voorgaande is gesteld dat een gegeven aantal kernen door diverse, verschillend opgebouwde netwerken onderling verbonden kunnen worden. Veel lokale en regionale wegennetten zijn oorspronkelijk niet bewust gepland, maar in de loop van de tijd gegroeid. Daarnaast bestaat een groot aantal stedelijke netwerken dat wel bewust gepland is. Het zijn echter lang niet altijd vervoerkundige gronden die aan de opzet van zo'n netwerk ten grondslag liggen. Zo waren het in bepaalde gevallen militaire overwegingen die de vorm van de uitbouw van een stratennet bepaalden, in andere gevallen het streven naar een efficiënte verkaveling. Een en ander maakt het nodig aandacht te schenken aan de specifieke ontwerpcriteria die de vervoerfunctie aan het ontwerp en de uitbouw van netwerken stelt.

Zoals eerder gezegd, heeft een bepaald netwerk nagenoeg altijd een verbindende en een ontsluitende functie. Voor de gebruiker zijn de verplaatsingstijden tussen herkomst en bestemming en de via het netwerk af te leggen afstanden relevant. Vanuit de optiek van de individuele gebruiker dienen, in het bijzonder, ten aanzien van de beperking van de omwegen eisen gesteld te worden. De acceptabele omwegfactor kan echter afhankelijk gesteld worden van de te bedienen soort relatie.

Voorts zal gestreefd moeten worden naar een zodanige opzet van het netwerk dat alle relevante vervoerrelaties op een zo efficiënt mogelijke wijze verwerkt kunnen worden. Dit leidt tot twee criteria, te weten:

- vanuit het belang van de exploitant van het netwerk dient te worden gestreefd naar een zo beperkt mogelijke totale netwerklengte,

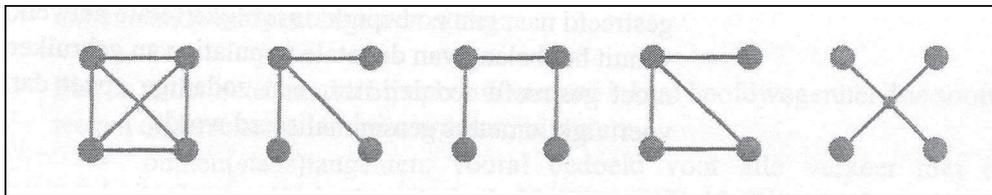
- vanuit het belang van de totale populatie van gebruikers van het netwerk moet gestreefd worden naar een zodanige opzet dat het totale aantal voertuigkilometers geminimaliseerd wordt.

Het zal duidelijk zijn dat deze twee criteria niet automatisch tot een zelfde opzet van een netwerk leiden. De uiteindelijke keuze zal daarom afhankelijk zijn van het belang dat aan het ene dan wel het andere criterium gehecht wordt. Naast de belangen van de exploitant en de gebruikers van een infrastructuurnetwerk spelen ook de belangen van de omgeving een steeds belangrijkere rol. Enerzijds gaat het daarbij om het beperken van de directe plaats- of tijdgebonden negatieve effecten van de aanwezigheid van infrastructuur en het optreden van verkeersintensiteiten, zoals ruimtebeslag en geluidshinder. Anderzijds gaat het om niet direct plaats- en tijdgebonden effecten, die samenhangen met het totaal aantal voertuigkilometers, zoals diverse vormen van luchtvervuiling.

**Bundeling**

Zoals gesteld is verkeersinfrastructuur bedoeld om het verplaatsen van mensen en goederen mogelijk te maken. In het algemeen zal echter niet voor iedere verplaatsing een nieuw pad gemaakt worden, doch zal in eerste instantie getracht worden reeds gebaande paden te gebruiken. Zelfs olifanten doen dat. Zo dienen ook verschillende nederzettingen (kernen van activiteiten) onderling zo efficiënt mogelijk verbonden te worden. Het zou weliswaar denkbaar zijn een gegeven aantal kernen allemaal paarsgewijs te verbinden. Veel beter is het echter te streven naar een zodanig netwerk van schakels en knooppunten dat zo veel mogelijk verkeer op zo min mogelijk wegen afgewikkeld wordt. De hierdoor mogelijke bundeling van verkeer biedt belangrijke (efficiency)voordelen voor zowel de wegbeheerder en de weggebruiker als voor de omgeving.

Zoals Figuur 1.8 laat zien, kunnen de vier punten op verschillende manieren met elkaar verbonden worden. Het meest direct zijn deze vier punten via zes verbindingen met elkaar verbonden. Maar het kan echter ook met minder verbindingen. Per saldo zijn twee verbindingen voldoende. Het netwerk bestaat dan uit vier schakels en een knooppunt.



FIGUUR 1.8: VERSCHILLENDE MOGELIJKHEDEN OM VIER KERNEN TE VERBINDEN

Algemeen geldt dat het streven naar bundeling van verkeersstromen een van de belangrijkste principes bij de opzet van netwerken is. Aan de ene kant leidt bundeling weliswaar tot nadelen vanwege verlies aan directheid: er ontstaan omwegen (althans gerekend in kilometers). De voordelen die het gevolg zijn van de schaalvergroting, die bundeling mogelijk maakt, wegen echter veelal ruimschoots op tegen het nadeel van de omwegen.

Deze schaalvergroting betekent dat voor dezelfde of zelfs lagere kosten (zowel voor wegbeheerder/overheid als voor gebruiker) kwalitatief betere verkeersvoorzieningen mogelijk zijn. De schaalvoordelen zijn een gevolg van onder meer:

- een betere capaciteitsbenutting: bij een zelfde totale capaciteit geeft bundeling van verkeersstromen een hogere benutting en daardoor lagere kosten (door vereffening van fluctuaties van de vervoervraag in ruimte en tijd);
- een efficiëntere technologie: bij zwaardere vervoerstromen wordt inzet van andere technologie met een hogere productiviteit en daardoor lagere kosten per eenheid (en veelal ook hogere kwaliteit, gemeten in snelheid en veiligheid) betaalbaar: autosnelweg in plaats van gewone weg; trein in plaats van bus;
- minder milieuschade: minder ruimtebeslag, landschapsversnippering, geluidshinder (de som van twee vervoerstromen geeft altijd minder geluidshinder dan de twee afzonderlijk).

Uitdrukkelijk is gesproken over bundeling van verkeer. Bij particulier autoverkeer is dit de concentratie van zoveel mogelijk voertuigen op zo weinig mogelijk wegen. Bij het collectief (openbaar) vervoer is er ook sprake van zoveel mogelijk reizigers in zo weinig mogelijk voertuigen.

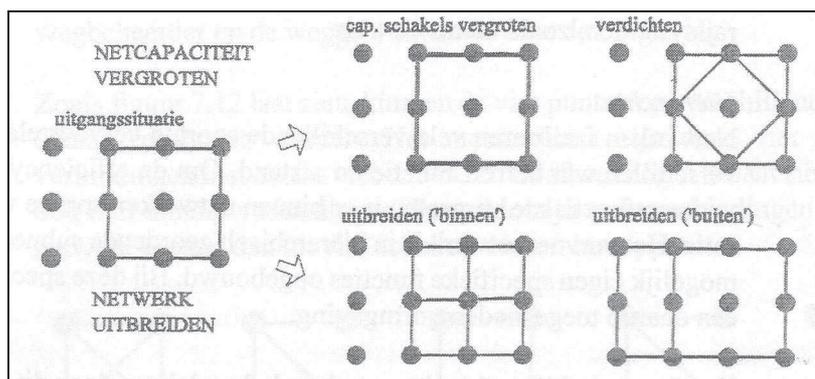
In het bijzonder bij openbaar vervoer is een verregaande wijze van bundeling mogelijk bij de inzet van railsystemen, zoals metro en trein.

Wordt de bundeling nog verder doorgevoerd dan ontstaat een hiërarchische structuur zoals eerder beschreven. Hoe hoger in hiërarchie, hoe sterker de bundeling: door dit schaafeffect kan op hogere hiërarchische niveaus een hoogwaardiger technologie worden toegepast. Daarbij zullen netwerken op hogere hiërarchische functionele niveaus doorgaans een grotere maaswijdte hebben. Om de netwerken op de hogere niveaus te kunnen 'vullen', zijn de lagere hiërarchische niveaus onontbeerlijk. In open netwerken zit de hiërarchie besloten in de netwerkstructuur: er is binnen het netwerk sprake van een hiërarchische opvolging van knooppunten. Bij gesloten netwerken is een hiërarchische opbouw mogelijk door netten van verschillende schaalniveaus aan elkaar te koppelen ('in elkaar te hangen'). Bovendien kunnen open en gesloten netwerken, die een functie hebben op verschillende schaalniveaus, aan elkaar worden gekoppeld.

### 1.4 Uitbouw van netwerken

Bij de verdere uitbouw van vervoernetwerken kan onderscheid gemaakt worden tussen de volgende mogelijkheden:

- vergroten bedieningsgebied netwerk (uitbreiden);
- verdichten netwerk (inbreiden);
- netwerkcapaciteit vergroten;
- netwerk robuuster maken.



FIGUUR 1.9: ONTWIKKELING VAN NETWERKEN

#### Vergroten bedieningsgebied netwerken

Het vergroten van het bedieningsgebied van netwerken is gericht op het aansluiten en/of verbinden van nieuwe gebieden en kernen en het faciliteren van lange-afstandverplaatsingen.

De betekenis van de nationale hoofdinfrastructuur kan worden vergroot door deze naadloos te laten aansluiten bij die van de buurlanden opdat het nationale netwerk een integraal onderdeel van de Europese netten wordt. Mede onder invloed van de Europese Unie wordt toegewerkt naar sluitende netwerken op Europese schaal. Bij de wegeninfrastructuur is de integratie tussen de nationale netten vrijwel afgerond.

Wat betreft de Europese rail-hoofdinfrastructuur is de uitbreiding van het TGV-net in noord-zuidrichting nagenoeg gereed. Daarnaast worden voorzieningen getroffen voor de oost-westverbinding (Amsterdam-Keulen). Er is tot op heden relatief weinig aandacht voor een verbinding in noordoostelijke richting (Hamburg, Berlijn, Scandinavië), met uitzondering van de recent afgesloten discussie over de Zuiderzeelijn. Toch zou deze verbinding interessant kunnen zijn: Nederland wordt in dat geval nog beter geïntegreerd in het internationale net van hogesnelheidslijnen.

Voor het goederenvervoer is de Betuwelijn (verbinding Rijnmond - Zevenaar - Ruhrgebied) recent gerealiseerd, maar is er weinig aandacht voor de verbindingen met België en Frankrijk. Bij de besluitvorming rond de Betuwelijn is er overigens maar weinig aandacht geschonken aan de internationale netwerkvorming: België streeft er naar om de IJzeren Rijn (Antwerpen - Ruhrgebied via Roermond) in gebruik te nemen.

**Verdichten netwerk**

Het verdichten van netwerken is gericht op het verkorten van omwegen en het bieden van alternatieve routes. Verdichting van netwerken leidt indirect ook tot een toename van de netwerkcapaciteit.

**Netwerkcapaciteit vergroten**

De netwerkcapaciteit kan worden vergroot door de schakelcapaciteit te vergroten of door nieuwe, parallelle, schakels aan te leggen. Vergroting van de netwerkcapaciteit kan nodig zijn vanwege een toename van de verkeersstromen, vanwege hogere kwaliteitseisen (afwikkelingsniveau) of hogere veiligheidseisen. Hieronder zijn voor weg, rail en binnenvaartinfrastructuur mogelijke netwerkcapaciteit vergrotende maatregelen genoemd.

Vooraf ten noorden van Rotterdam en rond Amsterdam zijn er omvangrijke aanpassingen van de hoofdwegeninfrastructuur gepland. Hier wordt de netwerkcapaciteit vergroot door parallelle wegen (en tunnels) aan te leggen. In de huidige plannen blijft de capaciteit van de railinfrastructuur op de verbinding Rijswijk-Delft Zuid onder het niveau van de overige trajectgedeelten tussen Rotterdam en Den Haag. Om de netwerkcapaciteit op peil te brengen, zou kunnen worden gekozen voor het toch viersporig maken van het baanvak.

De capaciteit van het totale vervoersysteem kan ook worden vergroot door verschillende netwerken (goed of beter) aan elkaar te koppelen.

**Robuustheid netwerk vergroten**

De robuustheid van een netwerk kan verhoogd worden door de capaciteit van kwetsbare schakels te vergroten, door alternatieve routes binnen een netwerk beschikbaar te houden of door het gebruik van alternatieve netwerken (alternatieve vervoerssystemen) mogelijk te maken. Door de aanleg van alternatieve verbindingen ontstaan meer keuzemogelijkheden (binnen een zelfde of tussen alternatieve netwerken): de afhankelijkheid van een bepaalde verbinding neemt daardoor af, waardoor de robuustheid van het netwerk toeneemt.

Op de autosnelweg relatie Den Haag/Rotterdam - Amsterdam is er echter sprake van een enkelvoudige (maar in capaciteit inmiddels vergrote) verbinding. In het kader van een vergroting van de robuustheid zou hier een parallelle verbinding kunnen worden gebouwd, maar is het ook mogelijk goede overstapmogelijkheden naar de spoorwegen te bouwen: binnen dat netwerk zijn immers wel parallelle verbindingen beschikbaar. Een derde oeververbinding in Rotterdam zou, wat betreft de robuustheid van het netwerk, aanbeveling verdienen.

Een 'parallelle' spoorverbinding Zwolle - Meppel en eventueel een verbinding over de Afsluitdijk zullen de robuustheid van het railsysteem kunnen verhogen: nu 'hangt' het hele noordelijke spoorwegennet aan de verbinding Zwolle-Meppel. Geredeneerd vanuit de Randstad is de spoorrelatie met het zuiden kwetsbaar, vanwege het relatief beperkte aantal oeververbindingen. Op den duur zou een extra verbinding hier aanbevelenswaardig zijn of zouden er alternatieven gezocht moeten worden in speciale, hoogwaardige, busverbindingen.

## 2 ONTWERPMETHODIEK VOOR REGIONALE NETWERKEN

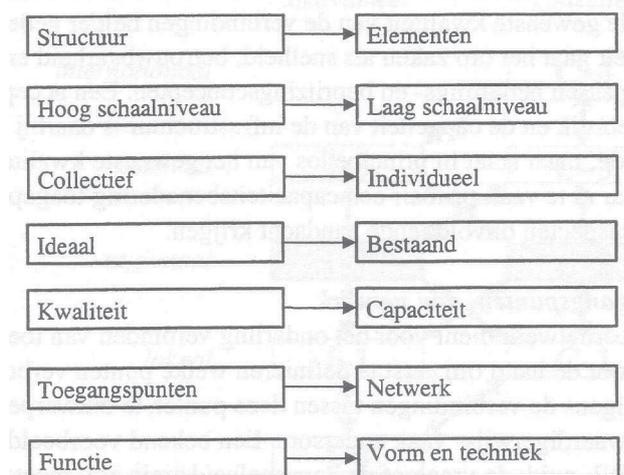
### 2.1 Inleiding ontwerpmethodiek voor regionale netwerken

Het voorgaande hoofdstuk behandelde de kenmerken van infrastructuurnetwerken en de theorie van het netwerkontwerpprobleem. In dit hoofdstuk wordt een door TNO ontwikkelde ontwerpmethodiek besproken waarmee een nieuw integraal regionaal vervoersysteem kan worden opgezet, maar waarmee ook bestaande netwerken kunnen worden geoptimaliseerd (Egeter et al., 2002). De methodiek wordt aan de hand van een voorbeeldcase uitgewerkt.

De ontwerpmethodiek bestaat uit een aantal ontwerpstappen die achtereenvolgens doorlopen worden. Deze ontwerpstappen zijn gebaseerd op de ontwerpdilemma's die in vorige hoofdstukken beschreven zijn. Om daar in het ontwerpproces mee om te gaan is een aantal vuistregels opgesteld, dat voor ieder schaalniveau waarop ontworpen wordt aanbevelingen doet over het invullen van de belangrijkste kenmerken van de beoogde vervoersystemen. Eerst gaat dit hoofdstuk echter in op de uitgangspunten van de methodiek en de schaalniveaus waarvoor de methodiek bedoeld is.

### 2.2 Uitgangspunten ontwerpmethodiek

De ontwerpmethodiek heeft een aantal belangrijke uitgangspunten dat vermeld staat in Figuur 2.1.



FIGUUR 2.1: UITGANGSPUNTEN ONTWERPMETHODIEK.

#### **Eerst structuur, dan elementen**

Eerst moet een visie worden ontwikkeld op de totaalstructuur van het netwerk, zoals de kernen die moeten worden verbonden, de schaalniveaus die worden onderscheiden, etc. Pas in tweede instantie wordt gekeken naar de elementen (wegvakken, knooppunten, tracés). In de praktijk wordt maar al te vaak een knelpuntenbenadering toegepast: oplossen van problemen op elementniveau. Dit leidt tot een vraagvolgende aanpak die weinig mogelijkheden biedt voor een ruimtelijk structurend beleid.

#### **Eerst hoog schaalniveau, dan laag schaalniveau**

Elk netwerk wordt afzonderlijk ontworpen, waarbij primair topdown wordt gewerkt: van hoog naar laag schaalniveau, met een terugkoppeling bottom-up. Alleen op deze manier is samenhang tussen de netwerken op verschillende schaalniveaus te krijgen. Als gestart wordt met het lokale of regionale netwerk, is het moeilijk nog een kwalitatief goed nationaal netwerk in te passen. De praktijk leert, dat het ontwerpproces vaak op een te laag schaalniveau wordt ingestoken, veelal gedictieerd door bestuurlijke grenzen.

#### **Eerst collectief, dan individueel**

De locatie van toegangspunten van het collectieve systeem (haltes, stations) luistert veel nauwer dan de locatie van toegangspunten tot het individuele systeem (opritten, aansluitingen). Dit hangt samen met de noodzaak tot voor- en natransport op het collectief vervoer. Bij de integratie van collectief en individueel vervoer is (bij gelijk schaalniveau) collectief vervoer dus leidend.

**Eerst ideaal, dan bestaand**

Er wordt eerst een ideaalstructuur ontworpen, los van het bestaande. Vervolgens wordt deze ideaalstructuur geconfronteerd met de bestaande situatie. De ingrepen die nodig zijn om van de bestaande naar de ideale situatie te komen, kunnen vervolgens worden geprioriteerd. Op deze manier wordt gewaarborgd dat verbeteringen in het bestaande net samenhang vertonen; de ideaalstructuur fungeert daarbij als een lange termijn focus.

**Eerst kwaliteit, dan capaciteit**

Voor het realiseren van een bepaalde bereikbaarheid dient de functie, en als afgeleide daarvan de gewenste kwaliteit van de verbindingen helder gedefinieerd te worden. Bij de kwaliteit gaat het om zaken als snelheid, betrouwbaarheid en comfort, maar ook om de toe te passen benuttings- en prijsingsconcepten. Een acceptabele verhouding tussen het gebruik en de capaciteit van de infrastructuur is daarbij een noodzakelijke voorwaarde, maar staat in principe los van het gewenste kwaliteitsniveau. In de praktijk wordt maar al te vaak primair een capaciteitsbenadering toegepast, waarbij overige kwaliteitsaspecten onvoldoende aandacht krijgen.

**Eerst toegangspunten, dan netwerk**

Een vervoernetwerk dient voor het onderling verbinden van toegangspunten. Het ligt daarom voor de hand om eerst te definiëren welke punten verbonden moeten worden, om vervolgens de verbindingen tussen deze punten te ontwerpen. In de praktijk gebeurt dit -merkwaardigerwijs- vaak andersom. Een bekend voorbeeld is de tracédiscussie rond de HSL-zuid: de vraag of de hogesnelheidstrein zou moeten stoppen in Den Haag werd afhankelijk gesteld van de keuze voor een tracé (bestaande lijn of nieuw tracé), terwijl de keuze of een stad als Den Haag wel of niet in het HST-net moet worden opgenomen natuurlijk vooraf had moeten gaan aan de tracékeuze. Dit had een zeer verwarrende discussie tot gevolg.

**Eerst functie, dan vorm en techniek**

Alvorens de vorm van de infrastructuur (dwarsprofiel weg, lay-out knooppunten, etc.) vast te kunnen stellen is het noodzakelijk te weten welke functie de weg vervult. Belangrijke functies die onderscheiden worden zijn: stroomfunctie, ontsluitingsfunctie en erffunctie. In het 'Duurzaam Veilig' concept staat deze aanpak centraal: door de vorm af te stemmen op de functie wordt een zeker gebruik van de infrastructuur afgedwongen die de verkeersveiligheid ten goede komt. Het spreekt voor zich dat naast de hierboven vermelde functies aan een weg nog meer functies kunnen worden toegekend (bv. terugvaloptie, buffer, toeristenroute). Bij het toekennen van de vorm zal ook met deze functies rekening moeten worden gehouden.

Ook bij de keuze tussen vervoertechnieken (bv. snelbus of lightrail) dient de functie leidend te zijn.

## 2.3 Vuistregels voor de belangrijkste kenmerken van de vervoersystemen

Een groot deel van de kenmerken van vervoersystemen hangt direct samen met het vervoerkundig schaalniveau. Te noemen zijn:

- aantal en omvang te verbinden kernen;
- verplaatsingsafstand;
- gemiddelde snelheid;
- afstand tussen toegangspunten;
- ontsluitingsruimte;
- maximale omwegfactor, en
- maaswijdte.

Deze genoemde kenmerken zijn zeer bepalend hoe het uiteindelijke ontwerp eruit ziet, en hoe de totale vervoermarkt is 'verkaveld' tussen de verschillende vervoerkundige schaalniveaus. Verder blijkt dat deze kenmerken een sterke onderlinge samenhang vertonen binnen een schaalniveau. Onlogische combinaties van kenmerken leiden tot suboptimale en inefficiënte netwerken. In het onderstaande worden de kenmerken kort besproken.

**Aantal en omvang te verbinden kernen**

Hoe hoger het schaalniveau is, hoe minder kernen op het netwerk zijn aangesloten. Een netwerk van hoog schaalniveau verbindt alleen de kernen van hoge orde. De 'orde' van een kern wordt o.a. bepaald door inwonertal en voorzieningenniveau. In deze studie is het inwonertal als indicator genomen.

**Verplaatsingsafstand**

Kernen van hogere orde genereren langere verplaatsingen. Ook door het geringere aantal geselecteerde kernen zullen de verplaatsingsafstanden in een netwerk van hoog schaalniveau gemiddeld groter zijn dan op lager schaalniveau.

**Gemiddelde snelheid**

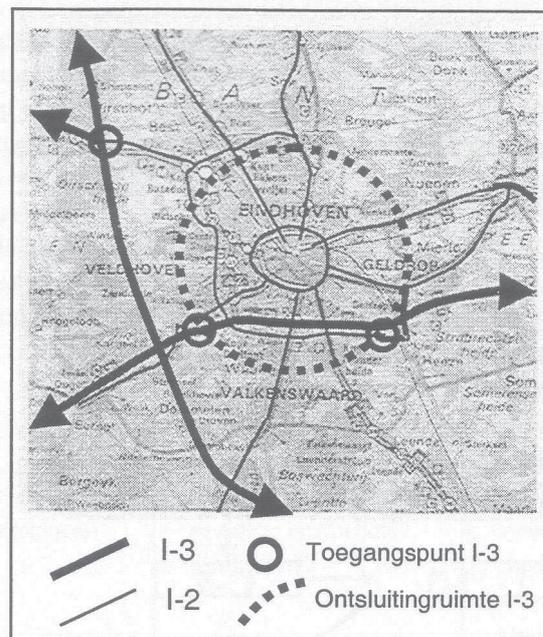
Omdat over netwerken van hoger schaalniveau gemiddeld langere verplaatsingen worden afgewikkeld, moeten ook hogere gemiddelde snelheden kunnen worden gehaald: een autosnelweg is sneller dan een regionale weg, een intercitytrein is sneller dan een stoptrein; anders heeft het immers geen zin om het hogere schaalniveau te gebruiken.

**Afstand tussen toegangspunten**

Bij een netwerk van hoger schaalniveau zijn de afstanden tussen de toegangspunten groter. Dit hangt enerzijds natuurlijk direct samen met het geringere aantal kernen dat op het netwerk is aangesloten. Anderzijds heeft het ook te maken met de kwaliteit van de afwikkeling van het vervoer: een intercitytrein die te vaak stopt wordt te langzaam; op een autosnelweg met te veel opritten wordt het doorgaand verkeer te veel gehinderd door korteaafstandsverkeer.

**Ontsluitingsruimte**

De Ontsluitingsruimte is de afstand tussen het centrum van een kern en het bijbehorende toegangspunt. Voor het collectief vervoer is de Ontsluitingsruimte nul, dat wil zeggen dat toegangspunten liefst in het centrum van de kern liggen, om voor- en natransportafstanden en overstapweerstand zoveel mogelijk te beperken. Bij individueel vervoer liggen de toegangspunten meestal juist niet in het centrum.



FIGUUR 2.2: ILLUSTRATIE ONTSLUITINGSSTRUCTUUR

Dit heeft diverse achtergronden:

- het is ongewenst uit oogpunt van leefbaarheid en ruimtegebruik om het toegangspunt midden in de kern te leggen, en
- het in acht nemen van een zekere afstand tussen de kern en het toegangspunt voorkomt dat het netwerk interessant wordt voor gebruik op te laag schaalniveau; de omwegen worden immers te groot.

Anderzijds mogen toegangspunten ook weer niet te ver weg liggen, want dan wordt de kwaliteit van de ontsluiting weer te slecht doordat een te lange afstand over wegen van lagere orde moeten worden afgelegd. Figuur 2.2 geeft een voorbeeld van de toepassing van de Ontsluitingsruimte: rondom Eindhoven is een cirkel getrokken waarbinnen in principe geen nationaal netwerk mag liggen (in de figuur I-3 genoemd, I-2 is het regionale netwerk). In het getekende ontwerp is aan

deze eis voldaan. Merk op, dat een deel van het nationale netwerk in dit voorbeeld wel door de Ontsluitingsruimte loopt; hier bevinden zich echter geen toegangspunten.

De grootte van de ontsluitingsruimte van het nationale netwerk is globaal bepaald door reistijden via het regionale netwerk en (met een omweg) via het nationale netwerk met elkaar te vergelijken. De ontsluitingsruimte is zo gekozen, dat voor een verplaatsingsafstand van 30 km beide reistijden aan elkaar gelijk zijn.

### **Maximale omwegfactor**

De omwegfactor is de verhouding tussen de afstand via het netwerk en de hemelsbrede afstand. Op ieder schaalniveau kan een maximale omwegfactor worden gedefinieerd. Deze hangt af van de snelheidsverhouding met het onderliggende schaalniveau. Bij een te grote omwegfactor in het netwerk wordt het interessant om de verplaatsing via een netwerk van lager schaalniveau te maken.

### **Netdichtheid / maaswijdte**

De maaswijdte zegt iets over hoe ver wegen of spoorwegen uit elkaar liggen. Hoe groter de maaswijdte, hoe lager de netdichtheid (de totale schakellengte per oppervlakte-eenheid). Er is gebleken dat de maaswijdte (of de netdichtheid) meestal geen zelfstandig te kiezen grootheid is, maar vanzelf volgt uit het aantal kernen, de ontsluitingsruimte en de maximale omwegfactor. Alleen voor netwerken binnen aaneengesloten stedelijk gebied wordt de maaswijdte een zelfstandig te kiezen kenmerk. De ontsluitingsruimten van kernen gaan elkaar daar overlappen, zodat het moeilijk wordt de wegen buiten de ontsluitingsruimten te plaatsen. Dan moet besloten worden welke maaswijdte tussen de wegen moet worden aangehouden.

## 2.4 Schema ontwerpstappen

In deze paragraaf worden de verschillende stappen waaruit de ontwerpmethodiek bestaat, beschreven. Toepassing van de methodiek resulteert in ontwerpen voor de collectieve en individuele netwerken, en de punten (transferia) waarop deze netwerken met elkaar verknoopt zijn. Ieder netwerk wordt apart ontworpen. Op deze manier kan elk netwerk optimaal op zijn functie worden toegesneden. Mogelijk worden in een later stadium van het ontwerpproces verschillende functies weer gecombineerd op een tracé of zelfs op een weg. Dit is dan echter een bewuste keuze die is ingegeven door een rationele afweging tussen voor- en nadelen van het combineren van functies op dat specifieke wegvak.

De beschreven ontwerpstappen moeten zowel voor individuele als voor collectieve netwerken op meerdere schaalniveaus uitgevoerd worden. Hierbij geldt, zoals in de voorgaande paragraaf is beschreven, primair de volgorde 'van hoog naar laag schaalniveau' en 'eerst collectief, dan individueel'

Omdat deze methode primair over het regionale vervoersysteem gaat, zijn vooral het nationale en regionale schaalniveau van belang. Het internationale netwerk wordt als vaststaand aangenomen; de lokale netwerken worden buiten beschouwing gelaten.

Tabel 2.1 geeft een totaaloverzicht van de stappen die gezet worden in de methodiek: wat moet gedefinieerd worden voordat elke stap uitgevoerd kan worden, welke acties horen bij iedere stap, en wat is het resultaat van die stap? In de volgende paragrafen worden deze stappen uitgebreider behandeld, aan de hand van de ontwerpcase Noord-Brabant.

De uitwerking van de ontwerpstappen richt zich hoofdzakelijk op de opbouw van de individuele netwerken aangezien dit het meest vernieuwend is.

	<b>Doelfunctie</b>	<b>Acties</b>	<b>Resultaat</b>
<b>Verstedelijkingsniveaus</b> (per schaalniveau)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verstedelijkingsniveaus</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• trekken grenzen verstedelijkingsniveaus</li> </ul>	Verstedelijkingsniveau op kaart
<b>Kernenhiërarchie</b> (per schaalniveau (en eventueel per verstedelijkingsniveau))	<ul style="list-style-type: none"> <li>• maximale omvang kernen</li> <li>• selectiecriteria primaire, secundaire, tertiaire kernen</li> <li>• ondergrens selectie</li> <li>• criteria ontsluiting: aantal toegangspunten primaire kernen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Overnemen kernen hoger schaalniveau</li> <li>• Opdelen te grote kernen</li> <li>• Vaststellen primaire, secundaire, tertiaire kernen op betreffende schaalniveau</li> <li>• Vaststellen aantal toegangspunten primaire kernen</li> </ul>	Kernenhiërarchie op kaart
<b>Gewenste verbindingen</b> (collectief, individueel)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Maximale omwegfactor</li> <li>• Gewenste maaswijdte / netdichtheid</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verbinden primaire kernen</li> <li>• Toevoegen verbindingen secundaire kernen</li> <li>• Toevoegen tertiaire kernen mits aan bestaande verbinding en de max. omwegfactor niet bereikt wordt</li> </ul>	Gewenste verbindingen tussen kernen
<b>Ideaaltypisch net</b> (collectie, individueel)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gewenste ontsluitingsruimte</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Trekken cirkels om primaire en secundaire kernen</li> <li>• Bepalen hoofdstromen langs primaire kernen</li> <li>• Bepalen optimale ontsluitingsstructuren</li> <li>• Terugkoppeling maken naar gewenste omwegfactor / maaswijdte</li> </ul>	Kaart (los van bestaande infrastructuur) met ideale net
<b>Analyse bestaand net</b> (collectief, individueel, op weg/baanvakniveau)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ontwerpeisen:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Minimale afstand tussen toegangspunten</li> <li>○ Ontwerpsnelheden</li> <li>○ Eisen aan logische opbouw</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kijken welke bestaande verbindingen de functie van de gewenste verbinding vervullen</li> <li>• Checken ontwerpeisen per verbinding</li> </ul>	Kaart met verbindingen op, boven of onder gewenst niveau en onlogische punten in netwerk
<b>Ontwerp reëel net</b> (per schaalniveau, collectief en individueel)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Uitgangspunten om positie op ontwerpassen te bepalen:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Hoeveelheid nieuwe infrastructuur</li> <li>○ Mate scheiding tussen ontwerp-niveaus</li> <li>○ Mate verknoping collectief-individueel</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Selectie tracés: volgens ideaal of bestaand</li> <li>• Kiezen hoofdrichting stromen (i.v.m. onlogische punten)</li> <li>• Selecteren toegangspunten voor individuele en collectieve net en voor verknoping beide netten</li> </ul>	Kaarten met ontwerpen (collectief en individueel, toegangs- / verknopingspunten verschillende schaalniveaus)

TABEL 2.1: SCHEMA ONTWERPSTAPPEN

## 2.5 Verstedelijkingsniveaus

Doelfunctie	Acties	Resultaat
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verstedelijkingsniveaus</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• trekken grenzen verstedelijkingsniveaus</li> </ul>	Verstedelijkingsniveau op kaart

Verstedelijkingsniveaus worden gebruikt om geschikte plaatsen te vinden om de collectieve en individuele netten te verknopen: op de grens van twee Verstedelijkingsniveaus, waar collectief en individueel bij elkaar in de buurt komen of kruisen. In de ontwerpcase zijn op nationaal en op regionaal schaalniveau steeds twee Verstedelijkingsniveaus gebruikt: Randstad/niet Randstad op nationaal niveau, stadsgewesten/landelijk gebied op regionaal niveau. Zo is bijvoorbeeld een Randstadpoort voorzien ten zuiden van het Hollandsch Diep (Lage Zwaluwe). Bij de stadsgewesten zijn zogenaamde stadspoorten voorzien. Ook voor het vaststellen van de selectiecriteria voor kernen (zie volgende stap) zijn de Verstedelijkingsniveaus van belang; in minder verstedelijkte gebieden kan bijvoorbeeld met minder strenge selectiecriteria gewerkt worden.

## 2.6 Kernenhiërarchie

Doelfunctie	Acties	Resultaat
<ul style="list-style-type: none"> <li>• maximale omvang kernen</li> <li>• selectiecriteria primaire, secundaire, tertiaire kernen</li> <li>• ondergrens selectie</li> <li>• criteria ontsluiting: aantal toegangspunten primaire kernen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Overnemen kernen hoger schaalniveau</li> <li>• Opdelen te grote kernen</li> <li>• Vaststellen primaire, secundaire, tertiaire kernen op betreffende schaalniveau</li> <li>• Vaststellen aantal toegangspunten primaire kernen</li> </ul>	Kernenhiërarchie op kaart

Deze stap moet voor ieder schaalniveau uitgevoerd worden. In de ontwerpcase betrof dit de nationale en regionale schaalniveaus. In feite betreft deze stap het bepalen welke *kernen* belangrijk genoeg zijn om in de netwerken op te nemen: de meeste verplaatsingen beginnen of eindigen nu eenmaal in een kern. Hierbij moet per schaalniveau ook een maximumafmeting worden vastgesteld; is een kern groter, dan moet hij worden opgedeeld in subkernen. De criteria kunnen ook per verstedelijkingsniveau verschillen. Cijfers over inwonertallen vormen de basis voor de selectie van de kernen, maar ook input van beleidsmakers is in deze stap belangrijk: zij kunnen besluiten om bepaalde kernen of ruimtelijke knopen die niet aan het inwonersaantalcriterium voldoen (bijvoorbeeld toeristische attracties) toch op te nemen.

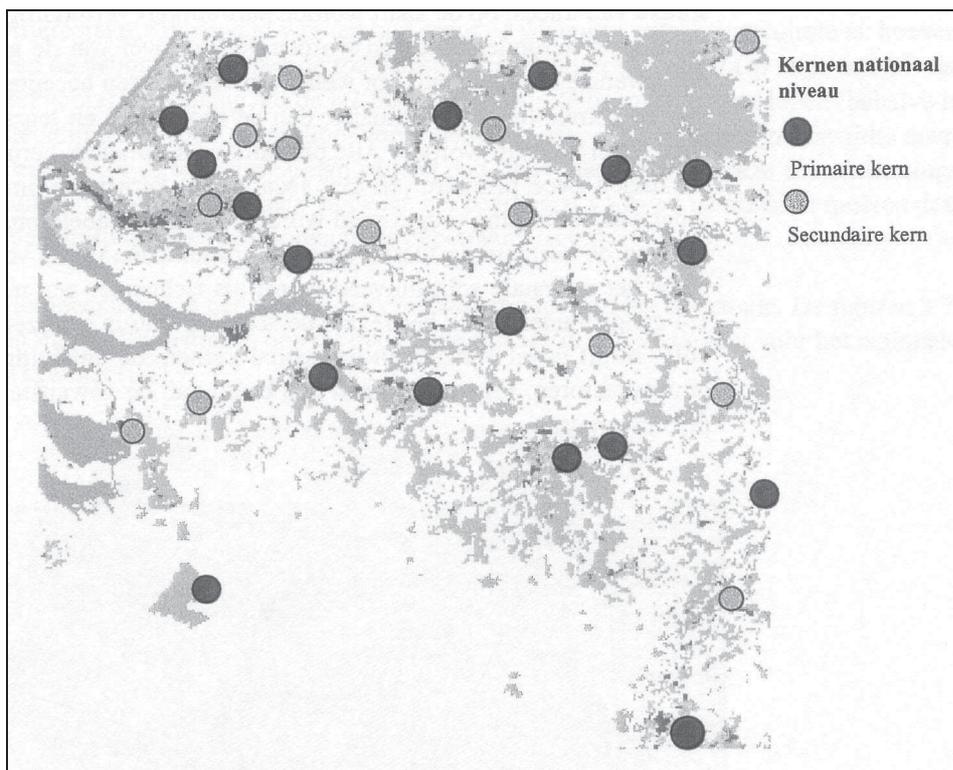
In de ontwerpcase is op nationaal niveau onderscheid gemaakt tussen primaire en secundaire kernen. De selectiecriteria zijn daarbij als volgt:

- primaire kernen: meer dan 200.000 inwoners, en
- secundaire kernen: 100.000-200.000 inwoners.

Op regionaal niveau is onderscheid gemaakt tussen primaire, secundaire en tertiaire kernen. De volgende grenzen gelden daarbij:

- primaire kernen: meer dan 20.000 inwoners;
- secundaire kernen: 10.000-20.000 inwoners, en
- tertiaire kernen: 5.000-10.000 inwoners.

Deze grenzen zijn in de ontwerpcase overigens niet overal strikt aangehouden; Helmond is als onderdeel van Brabantstad bijvoorbeeld ook als nationale kern opgenomen. Ook is geen onderscheid gemaakt tussen verstedelijkingsniveaus. De ondergrens van op te nemen kernen zal afhangen van het algemene niveau van verstedelijking: in een gebied met een lage bevolkingsdichtheid zal men minder strenge eisen stellen dan in een sterk verstedelijkt gebied. Figuur 2.3 toont voor het nationale niveau van de ontwerpcase hoe de uit deze stap resulterende kaart eruit ziet.



FIGUUR 2.3: KERNENHIËRARCHIE NATIONALE SCHAAL.

Tenslotte moet in deze stap nagedacht worden over het aantal toegangspunten (bijvoorbeeld treinstations, opritten snelwegen) dat de kernen moeten hebben op de netwerken.

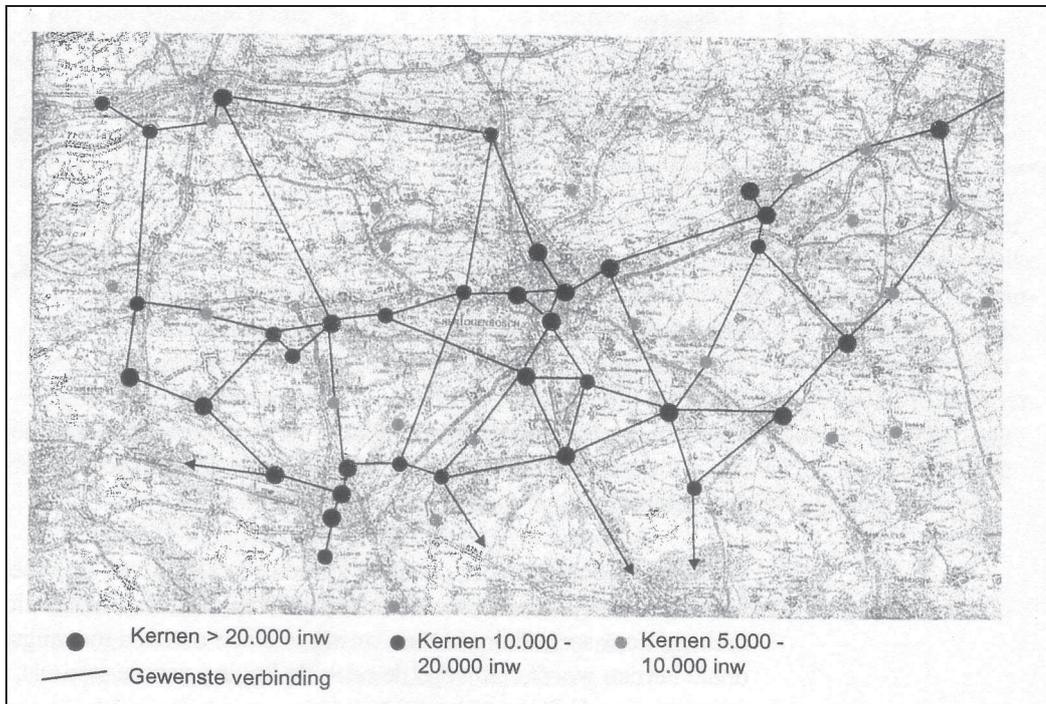
In de ontwerpcase is voor primaire kernen een aantal van drie toegangspunten tot het nationale netwerk aangehouden, teneinde de kern vanuit verschillende richtingen bereikbaar te maken. Voor secundaire kernen wordt volstaan met één toegangspunt op het nationale netwerk. Voor nationale kernen wordt vanwege de centrale ligging van de stations, volstaan met één toegangspunt op het nationale netwerk.

## 2.7 Gewenste verbindingen

Doelfunctie	Acties	Resultaat
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Maximale omwegfactor</li> <li>• Gewenste maaswijdte / netdichtheid</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verbinden primaire kernen</li> <li>• Toevoegen verbindingen secundaire kernen</li> <li>• Toevoegen tertiaire kernen mits aan bestaande verbinding en max. omwegfactor niet bereikt</li> </ul>	Gewenste verbindingen tussen kernen

In deze stap wordt bepaald welke kernen zeker op het netwerk aangesloten moeten worden, en welke verbindingen daarbij de grootste prioriteit hebben. Er is nog geen sprake van tracés; op de kaart worden hart-op-hart verbindingen aangegeven. Er moeten veronderstellingen worden gedaan over wat de gewenste maaswijdte is (of de gewenste netdichtheid), en welke omwegfactoren acceptabel zijn. Bij het verbinden van de kernen (eerst de primaire, dan de secundaire en tenslotte de tertiaire) moet aan deze eisen voldaan worden. Alle primaire en secundaire kernen worden opgenomen, en als tussen twee primaire (en evt. secundaire) kernen de omwegfactor te groot wordt, moet een verbinding toegevoegd worden. De acceptabele omwegfactoren zijn afhankelijk van de verhouding tussen de ontwerpsnelheden op de verschillende schaalniveaus. Voor het nationale schaalniveau wordt als richtsnoer een maximale omwegfactor van 1,4 aangehouden, voor het regionale schaalniveau is gekozen voor 1,7. De maaswijdte volgt in dit geval vanzelf uit het aantal kernen, de ontsluitingsruimte en de

maximale omwegfactoren. Figuur 2.4 geeft een beeld van de gewenste regionale verbindingen in de ontwerpcase.

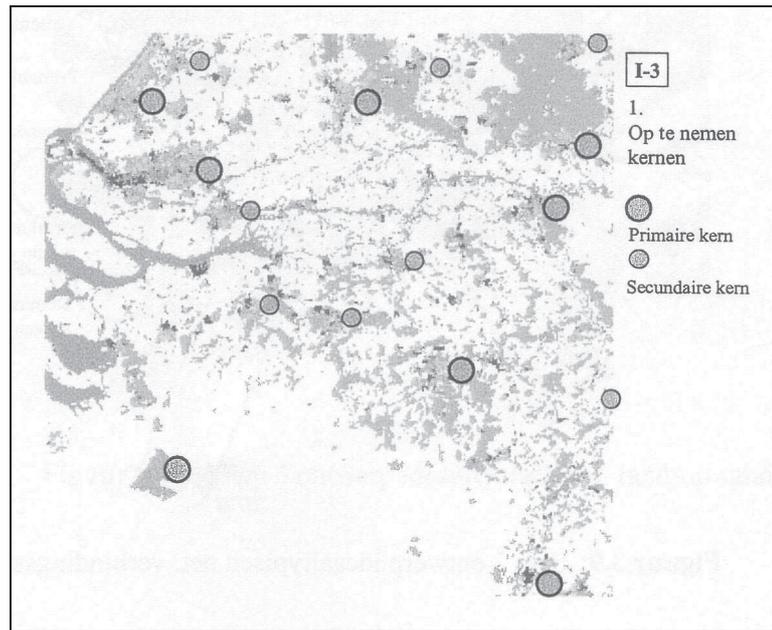


FIGUUR 2.4: GEWENSTE REGIONALE VERBINDINGEN IN DE ONTWERPCASE.

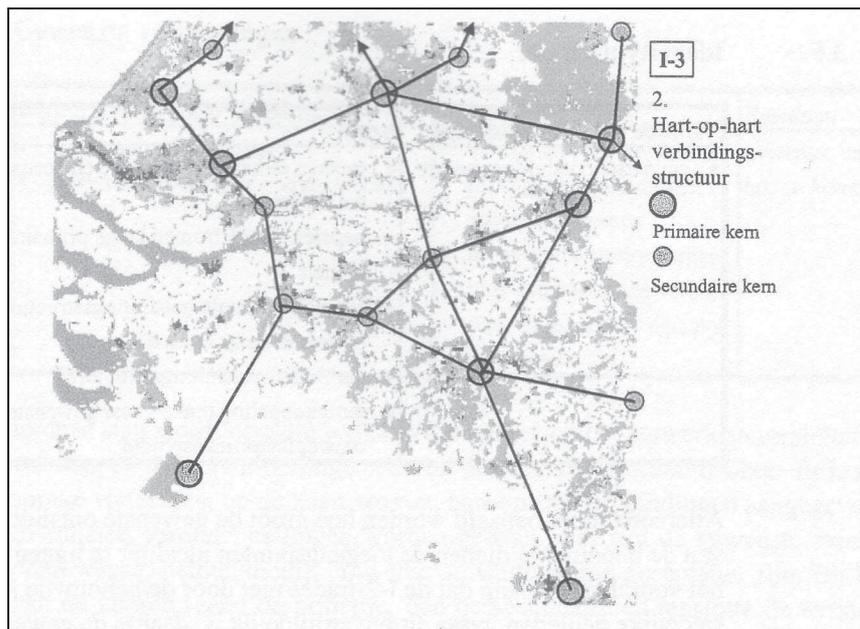
## 2.8 Ideaaltypisch net

Allereerst moet bepaald worden hoe groot de gewenste ontsluitingsruimte is: hoever van de bebouwing dienen de toegangspunten idealiter te liggen? Op regionaal niveau is het vooral van belang dat de tracés van het individuele net niet door de bebouwde kom lopen (behalve in stedelijke gebieden, waar dit onvermijdelijk is: daar is de gewenste maaswijdte maatgevend). Voor de toegangspunten van het collectieve net geldt dat deze een ontsluitingsruimte van nul km hebben; vanwege het benodigde voor- en natransport moeten deze toegangspunten liefst midden in de bebouwing liggen.

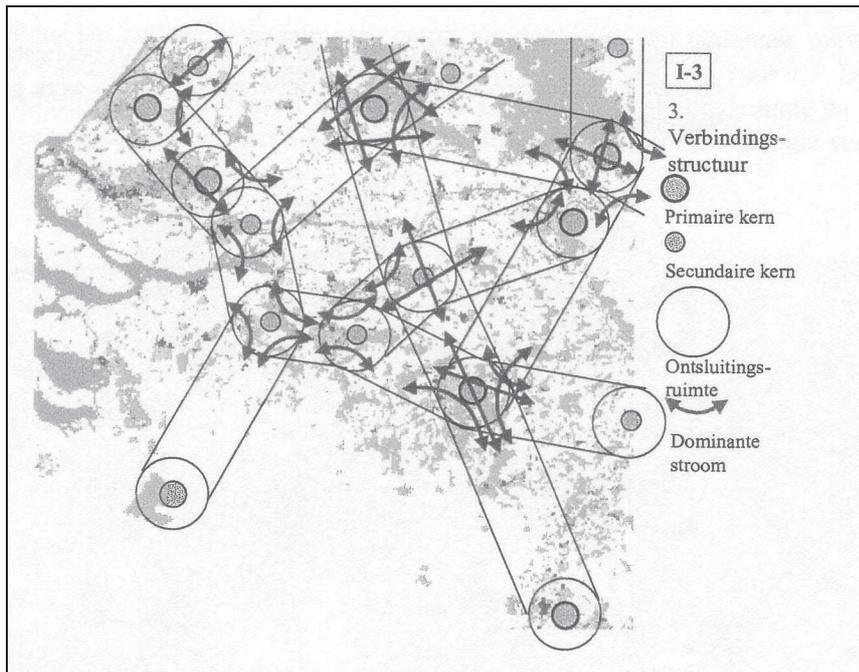
Het ideaaltypisch net staat in principe volledig los van het bestaande. Figuur 2.5 tot en met Figuur 2.10 illustreren hoe dit in de ontwerpcase in zijn werk gaat voor het nationale wegennet (1-3).



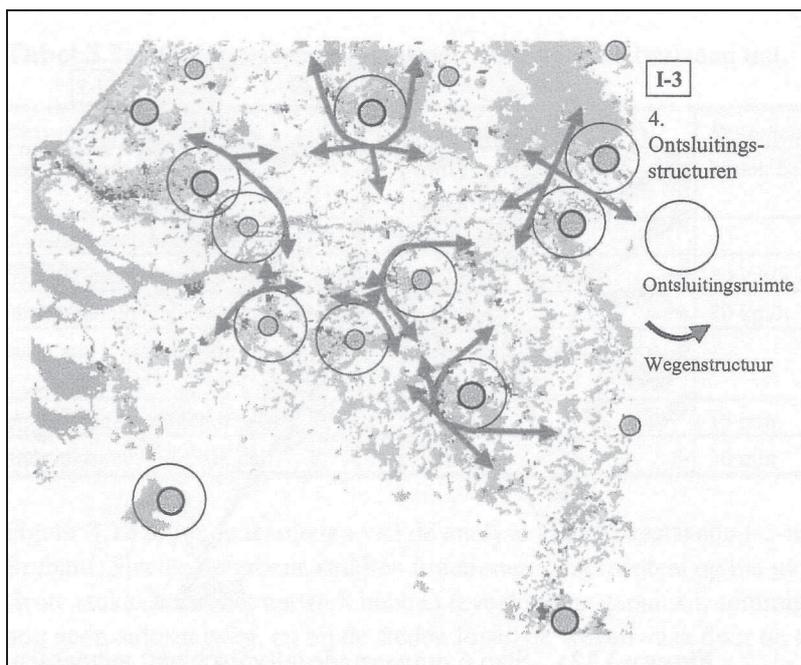
FIGUUR 2.5: STAP 1 ONTWERP IDEEAALTYPISCH NET: OP TE NEMEN KERNEN.



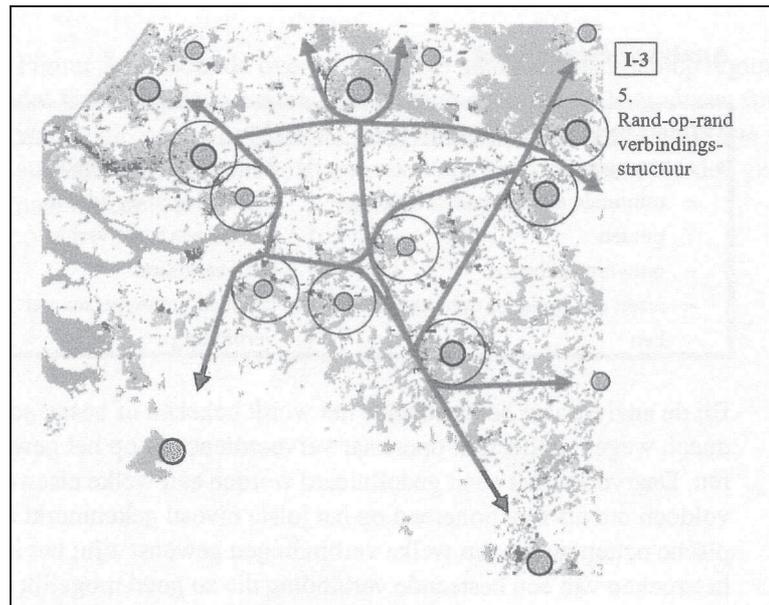
FIGUUR 2.6: STAP 2 ONTWERP IDEEAALTYPISCH NET: HART-OP-HART VERBINDINGSSTRUCTUUR.



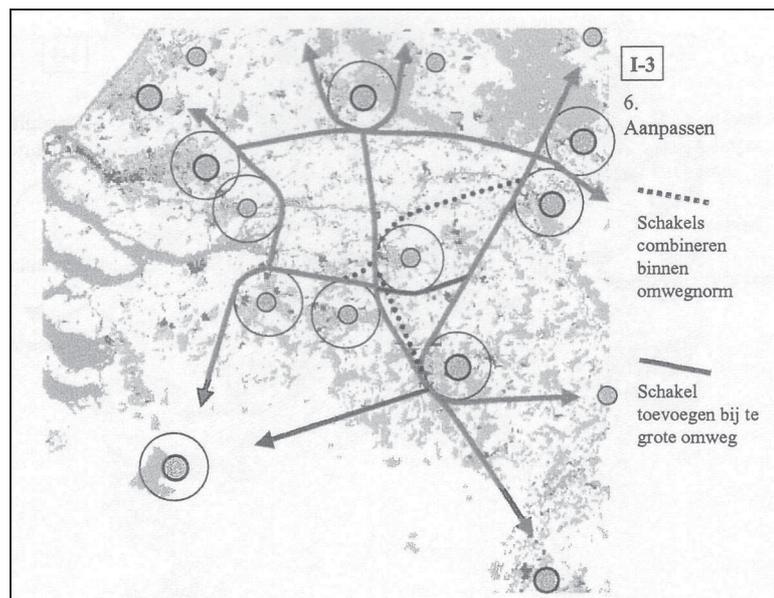
FIGUUR 2.7: STAP 3 ONTWERP IDEAALTYPISCH NET: VERBINDINGSSTRUCTUUR.



FIGUUR 2.8: STAP 4 ONTWERP IDEAALTYPISCH NET: ONTSLUITINGSSTRUCTUREN.



FIGUUR 2.9: STAP 5 ONTWERP IDEAALTYPISCH NET: RAND-OP-RAND VERBINDINGSSTRUCTUUR.



FIGUUR 2.10: STAP 6 ONTWERP IDEAALTYPISCH NET: AANPASSEN STRUCTUUR.

## 2.9 Analyse bestaand net

Doelfunctie	Acties	Resultaat
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ontwerpeisen:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Minimale afstand tussen toegangspunten</li> <li>○ Ontwerpsnelheden</li> <li>○ Eisen aan logische opbouw</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kijken welke bestaande verbindingen de functie van de gewenste verbinding vervullen</li> <li>• Checken ontwerpeisen per verbinding</li> </ul>	Kaart met verbindingen op, boven of onder gewenst niveau en onlogische punten in netwerk

Bij de analyse van het bestaande net wordt bekeken of bestaande verbindingen (individueel: wegen; collectief: openbaar vervoerdiensten) op het gewenste niveau functioneren. Daarvoor moet eerst gedefinieerd worden aan welke eisen een verbinding moet voldoen om als functionerend op

het juiste niveau gekenmerkt te worden. De ideaaltypische netten geven aan welke verbindingen gewenst zijn; het is dan een kwestie van het zoeken van een bestaande verbinding die zo goed mogelijk past, en aangeven of die op het juiste niveau functioneert.

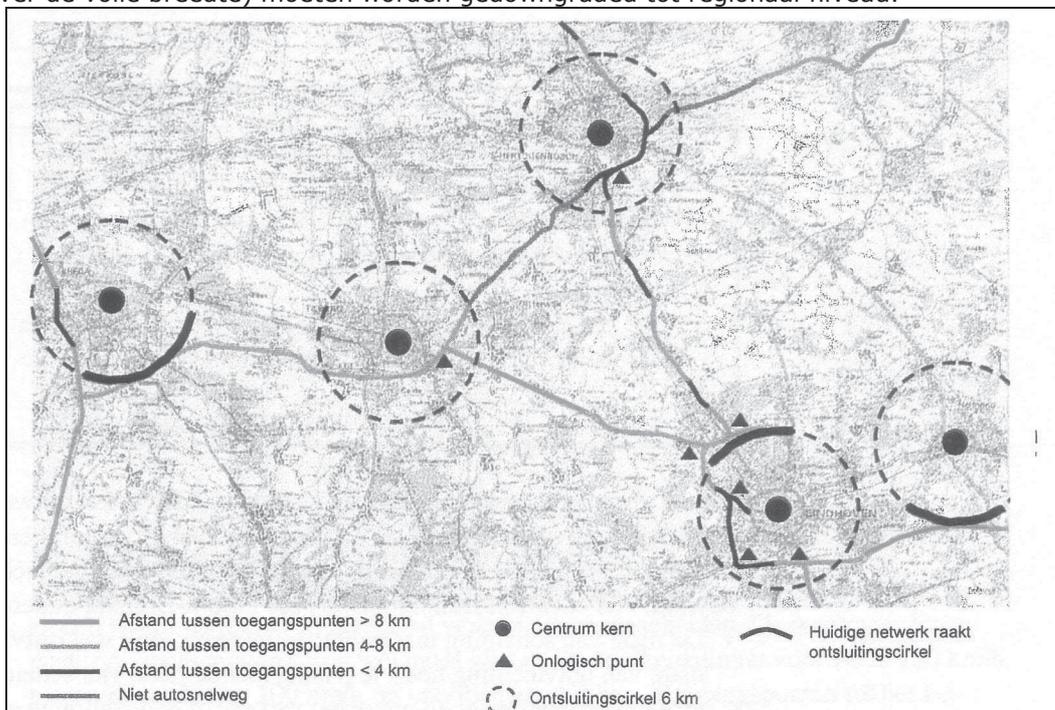
Tabel 2.2 laat de basiseisen zien die zijn geformuleerd. Gekozen is voor ontsluitingscirkels met een straal van 6 km voor de primaire kernen: alle bebouwing ligt (ruim) binnen deze cirkels, maar toegangspunten die op de cirkel zouden moeten komen te liggen, liggen daarmee niet te ver van het centrum.

Ontwerpeis	Nationaal	Regionaal
ontsluitingsruimte	ontsluitingscirkel met straal van 6 km	buiten bebouwde kom
afstand tussen toegangspunten	minimaal 8 km	-
ontwerpsnelheden individueel	120km/h	80km/h
ontwerpsnelheden collectief	120km/h	80km/h
eisen aan logische opbouw netwerken	doorgaande route is voor hoofdstroom	-
intervaltijden collectief spits	30min	15 min
intervaltijden collectief dal	30min	30min

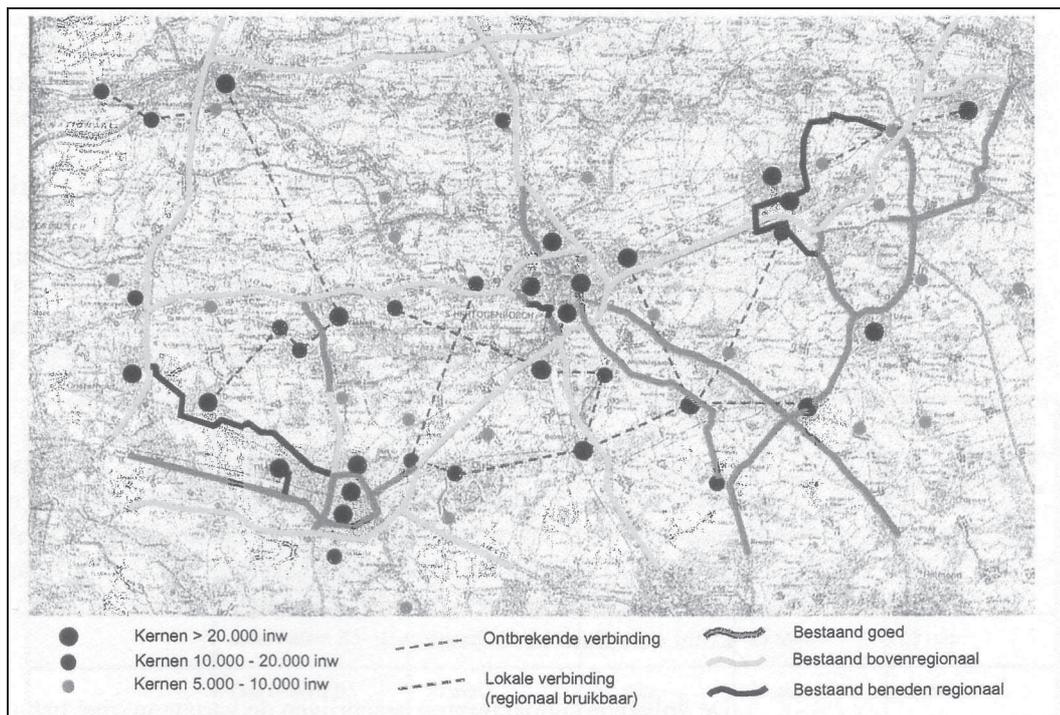
TABEL 2.2: GEFORMULEERDE BASISEISEN VOOR ANALYSE BESTAAND NET.

Figuur 2.11 toont de resultaten van de analyse van het nationale (I-3) netwerk in Noord-Brabant in 2002. Slechts een beperkt aantal wegvakken functioneren momenteel op het gewenste niveau. Grote stukken van het netwerk hebben teveel toegangspunten, sommige delen zijn nu nog geen autosnelweg, en bij de steden lopen de wegen vaak door de ontsluitingscirkels. Tenslotte zijn vooral bij Eindhoven veel onlogische punten te vinden: knooppunten waar de hoofdstroom af moet slaan, wat bij druk verkeer vaak vertraging veroorzaakt.

Figuur 2.12 toont de overeenkomstige analyse, maar dan op regionaal niveau. Merk op dat hier niet alleen wegen zijn die momenteel op te laag niveau functioneren, maar ook wegen die op te hoog niveau functioneren. Deze laatste categorie wordt gevormd door autosnelwegen, die (al dan niet over de volle breedte) moeten worden gedowngraded tot regionaal niveau.



FIGUUR 2.11: ANALYSE I3-NET NOORD-BRABANT



FIGUUR 2.12: ANALYSE REGIONALE WEGENNET NOORD-BRABANT

## 2.10 Ontwerpen reële netwerken

Doelfunctie	Acties	Resultaat
<ul style="list-style-type: none"> <li>Uitgangspunten om positie op ontwerpassen te bepalen:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>Hoeveelheid nieuwe infrastructuur</li> <li>Mate scheiding tussen ontwerpniveaus</li> <li>Mate verknoping collectief-individueel</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Selectie tracés: volgens ideaal of bestaand</li> <li>Kiezen hoofdrichting stromen (i.v.m. onlogische punten)</li> <li>Selecteren toegangspunten voor individuele en collectieve net en voor verknoping beide netten</li> </ul>	Kaarten met ontwerpen (collectief en individueel, toegangs- / verknopingspunten verschillende schaalniveaus)

De ontwerpmethodiek kan gebruikt worden om een enkel ontwerp te maken, maar ook om diverse ontwerpen te maken en die met elkaar te vergelijken. In beide gevallen moet bepaald worden waar het ontwerp op gebaseerd is: waar het zich op de ontwerpassen bevindt. Als ontwerpassen zijn in de case Noord-Brabant onderscheiden:

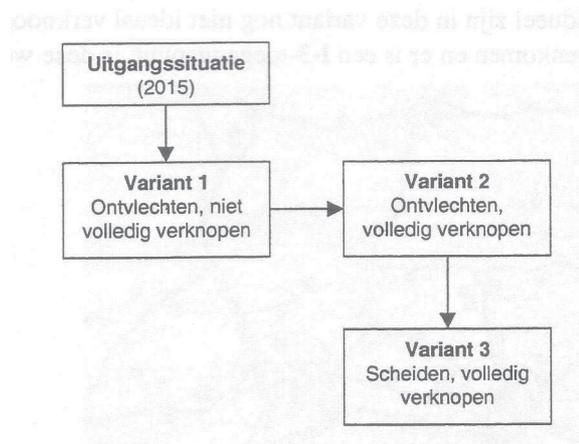
- De mate van scheiding tussen ontwerpniveaus, ook wel **ontvlechting** genoemd. De mate van ontvlechting heeft te maken met de mate van scheiding tussen de schaalniveaus (geen nationaal en regionaal verkeer over dezelfde weg). Tracés kunnen hierbij naast elkaar lopen (zoals momenteel in Utrecht en in Rotterdam) of uit elkaar getrokken worden (bijvoorbeeld, het oude tracé voor het regionale verkeer, en een nieuw tracé voor het nationale verkeer op enige afstand hiervan). Ontvlechting kan voorts alleen bij de steden plaatsvinden, of ook daartussenin.
- De **mate van verknoping** van de collectieve en individuele netwerken, ofwel: worden alle geschikte punten waar verschillende netten elkaar kruisen benut voor overstappunten, of wordt dit slechts op een beperkt aantal punten gedaan?

In de ontwerpcase is begonnen met een referentievariant, waarin alle infrastructuraanpassingen uit bestaand beleid zijn opgenomen (de uitgangssituatie in 2015). Daarnaast zijn er drie varianten ontworpen (zie Figuur 2.13), waarbij vooral gevarieerd is op mate van ontvlechting en mate van verknoping. Van variant 1 naar 3 verschilt het resultaat daarnaast ook in de hoeveelheid nieuwe infrastructuur (meer in variant 3 dan in 1), dus de ontwerpen verschillen ook in hoe dicht ze de ideale situatie benaderen. De kosten variëren daarmee natuurlijk ook.

In principe kunnen voor de verknoping alle mogelijke combinaties tussen individueel en collectief en schaalniveaus gemaakt worden. In deze studie zijn echter alleen de zogenaamde P+R, P+IC en stadspoorten opgenomen. Voor de stadspoorten zijn de toegangspunten tot het nationale net bij de grote steden als uitgangspunt genomen. Deze liggen aan de rand van de bebouwing en hier komt ook altijd het regionale netwerk.

De volgende subparagrafen beschrijven de varianten, met behulp van diverse kaarten die een beeld geven van de individuele en collectieve netten en de overstappunten tussen deze netten.

De varianten worden hier beschreven om een indruk te geven van de mogelijkheden van de ontwerpmethodiek. De studie naar de effecten die de varianten met zich mee brengen wordt hier vanwege de omvang achterwege gelaten.



FIGUUR 2.13: ONTWORPEN VARIANTEN.

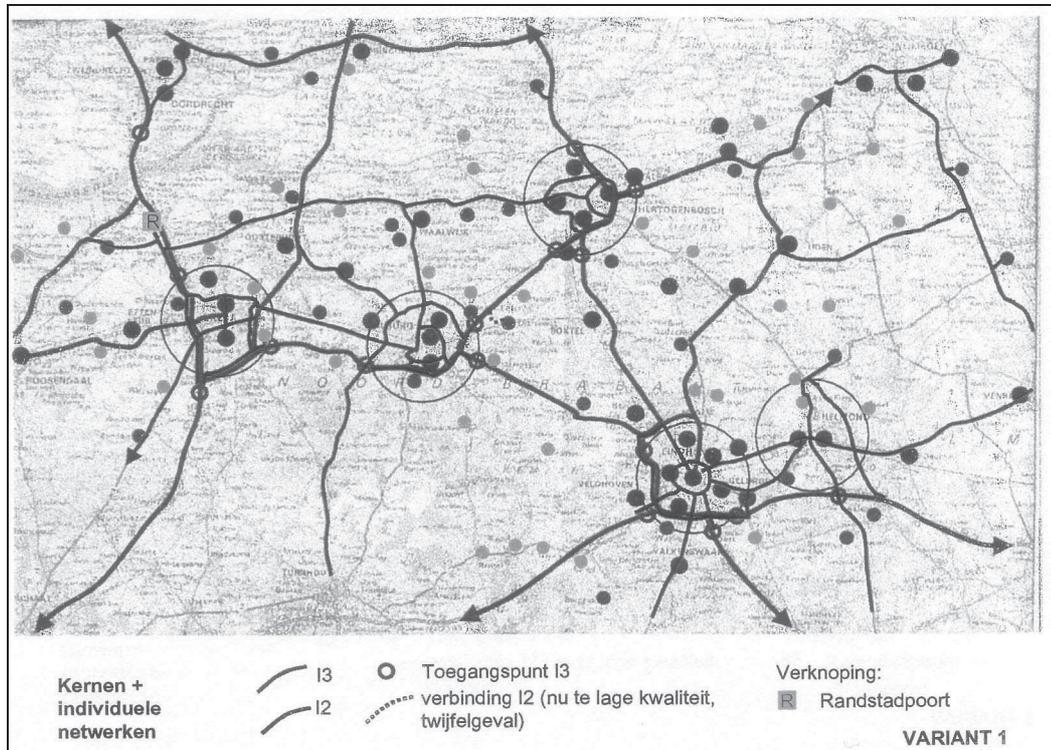
**Variant 1: ontvlechten, niet volledig verknopen**

Zie Figuur 2.14 en Figuur 2.15. I3 en I2 staan voor respectievelijk het nationale en het regionale individueel vervoernetwerk. C3 en C2 voor het nationale en regionale collectieve netwerk. In deze variant zijn bestaande wegtracés gevolgd. Bij de grote steden wordt nationaal en regionaal verkeer fysiek gescheiden. De wegtracés lopen waar ontvlochten wordt nog wel naast elkaar. De snelheidslimiet voor het individuele nationale netwerk is 120 km/h tussen de steden en 100 km/h op ontvlochten stukken. Toegangspunten tot dit netwerk zijn te vinden op de ontsluitingscirkels rond de grote steden, en tevens op die plekken tussen de steden waar regionale en nationale netwerken elkaar kruisen. Tussen de steden blijven de bestaande afslagen bestaan. Indien een bestaande autosnelweg als regionale weg aangeduid wordt, wordt de snelheidslimiet 100 km/h. Het spoorwegennet (zowel nationaal als regionaal) behoudt in deze variant voor het overgrote deel zijn huidige functie. Er heeft ten aanzien van de operationele snelheden en de ritfrequenties wel een aantal veranderingen plaatsgevonden. Bij de ritfrequentie is onderscheid gemaakt tussen spits- en daluren en het feit of de verbinding wel of niet binnen de vijf grote Brabantse steden (de B5) loopt. In tabel 3.3 wordt een overzicht gegeven van de verschillende ontwerpisen voor het collectieve net. Deze waarden gelden overigens voor alle drie de varianten. Voor bus- en lightrailverbindingen (voornamelijk regionaal) zijn eerst de primaire kernen verbonden, vervolgens de secundaire en in het geval van een niet al te grote omweg de tertiaire kernen.

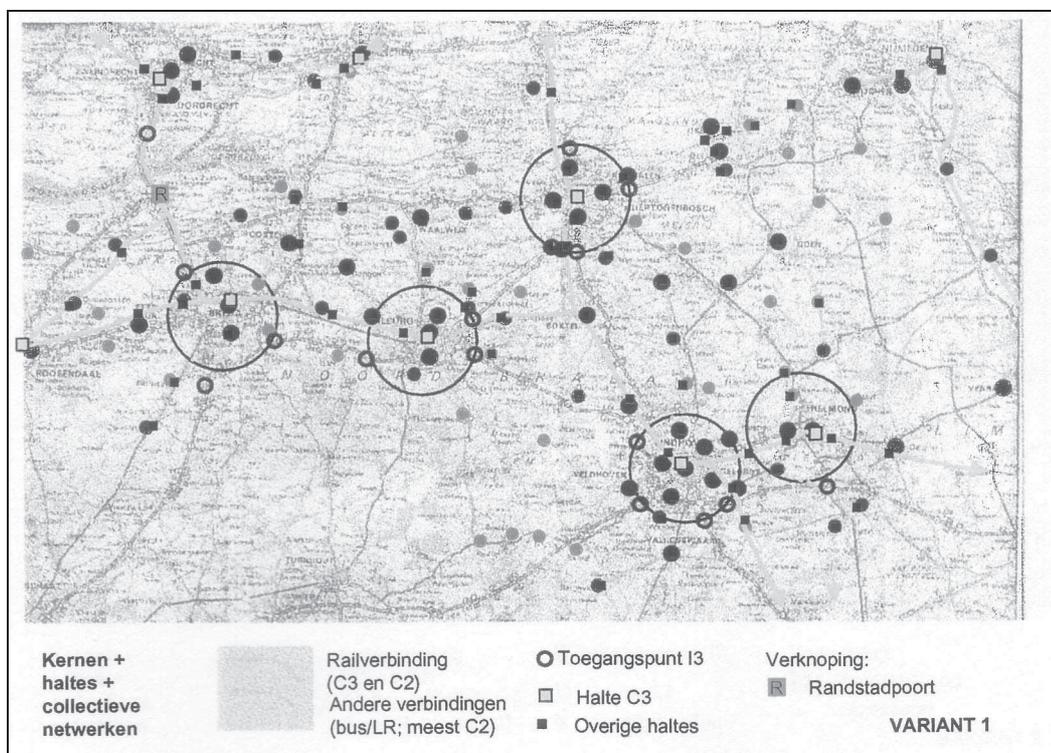
Kenmerk Collectief Vervoer		Nationaal		Regionaal	
		Trein/Ir	Bus	Trein/Ir	Snelbus
Operationele snelheid		120 km/u	80 km/u	70 km/u	40 km/u
Ritfrequentie	Spits binnen B5	30 min.	30 min.	10 min.	10 min.
	Spits buiten B5	30 min.	30 min.	15 min.	15 min.
	Dal binnen B5	30 min.	30 min.	15 min.	15 min.
	Dal buiten B5	30 min.	30 min.	30 min.	30 min.

TABEL 2.3: ONTWERPEISEN COLLECTIEVE NET.

Collectief en individueel zijn in deze variant nog niet ideaal verknoot. Als het individuele nationale en het collectieve regionale netwerk elkaar toevallig tegenkomen en er is een toegangspunt tot het individuele nationale net, is deze wel gebruikt voor een overstappunt.



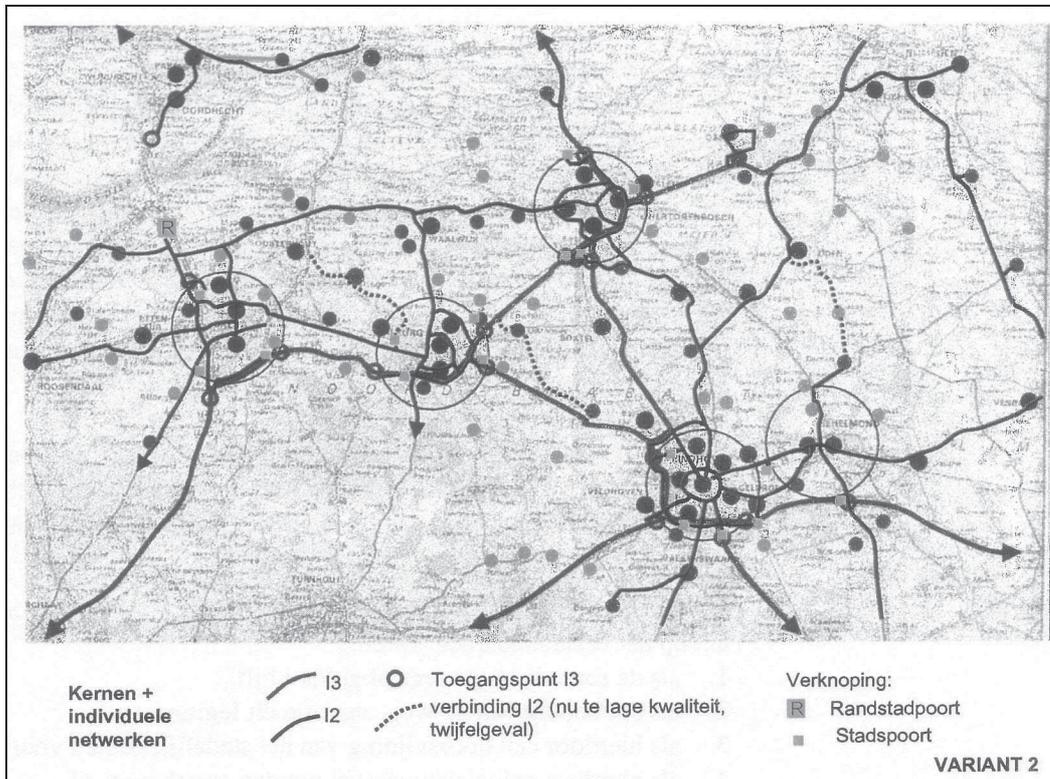
FIGUUR 2.14: ONTWERP INDIVIDUEEL NET VARIANT 1



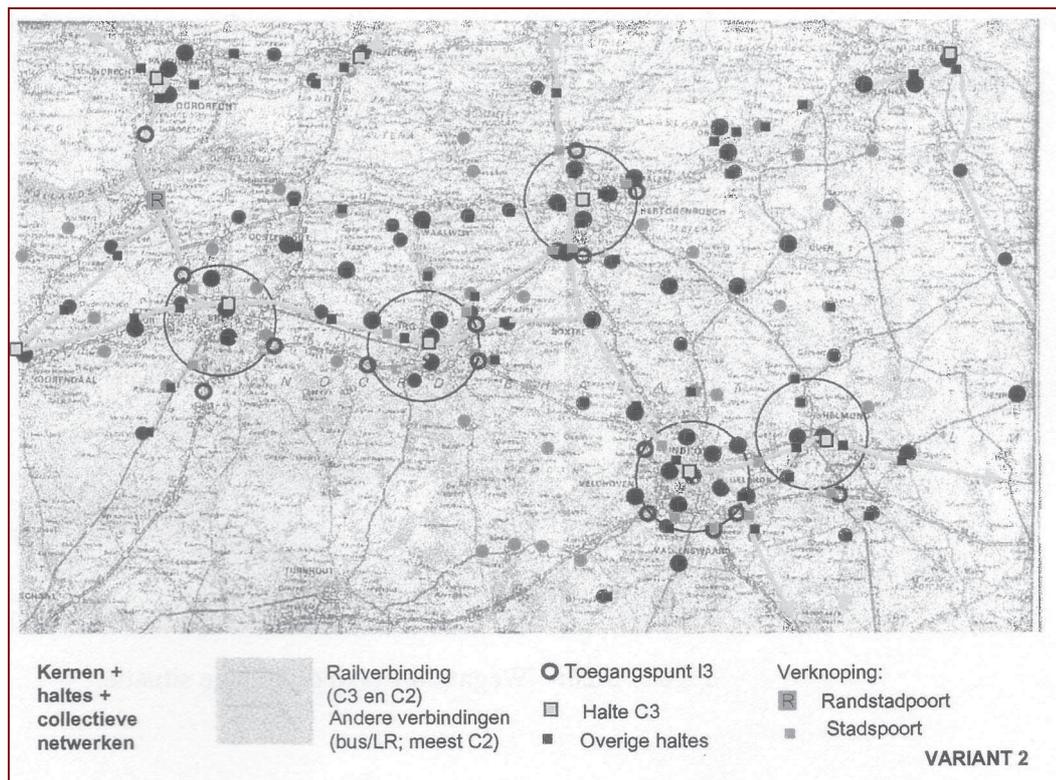
FIGUUR 2.15: ONTWERP COLLECTIEF NET VARIANT 1

**Variante 2: ontvlechten, wel volledig verknoepen**

Zie Figuur 2.16 en Figuur 2.17. Het verschil met variante 1 is dat multimodale overstappunten (stadspoorten) zijn toegevoegd, waardoor individueel en collectief beter verknoopt zijn. Waar mogelijk zijn ze aan alle kanten van de steden geplaatst, in de buurt van nationale toegangspunten. Waar dit nodig was, is het regionale collectieve en individuele netwerk hierop aangepast. In sommige gevallen liggen de stadspoorten binnen de ontsluitingscirkels, omdat daar de gewenste knooppunten van het collectieve en het individuele netwerk te vinden waren.



FIGUUR 2.16: ONTWERP INDIVIDUEEL NET VARIANT 2



FIGUUR 2.17: ONTWERP COLLECTIEF NET VARIANT 2

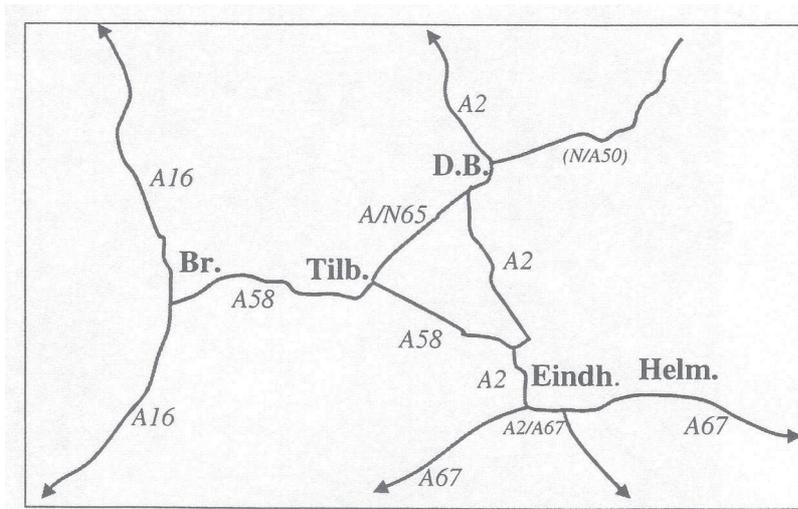
**Variant 3: scheiden en volledig verknopen**

Zie Figuur 2.19 en Figuur 2.20. Net als in variant 2 is waar mogelijk verknoot, maar tevens is een grotere scheiding aangebracht tussen nationale en regionale individuele verbindingen. Voor de nationale verbindingen zijn deels nieuwe tracés aangelegd. Het individuele netwerk heeft overall een limiet van 120 km/h. Ongeveer om de 8 km is een toegangspunt gepland; op die manier verstoort het in- en uitvoegende verkeer het doorgaande verkeer niet al te zeer, maar blijft het netwerk wel toegankelijk voor verkeer dat over niet al te lange afstanden reist. Dit betekent dat op sommige delen van het individuele nationale netwerk bestaande afslagen afgesloten zijn. Het individuele regionale netwerk (overall 80 km/h) is hierop aangepast.

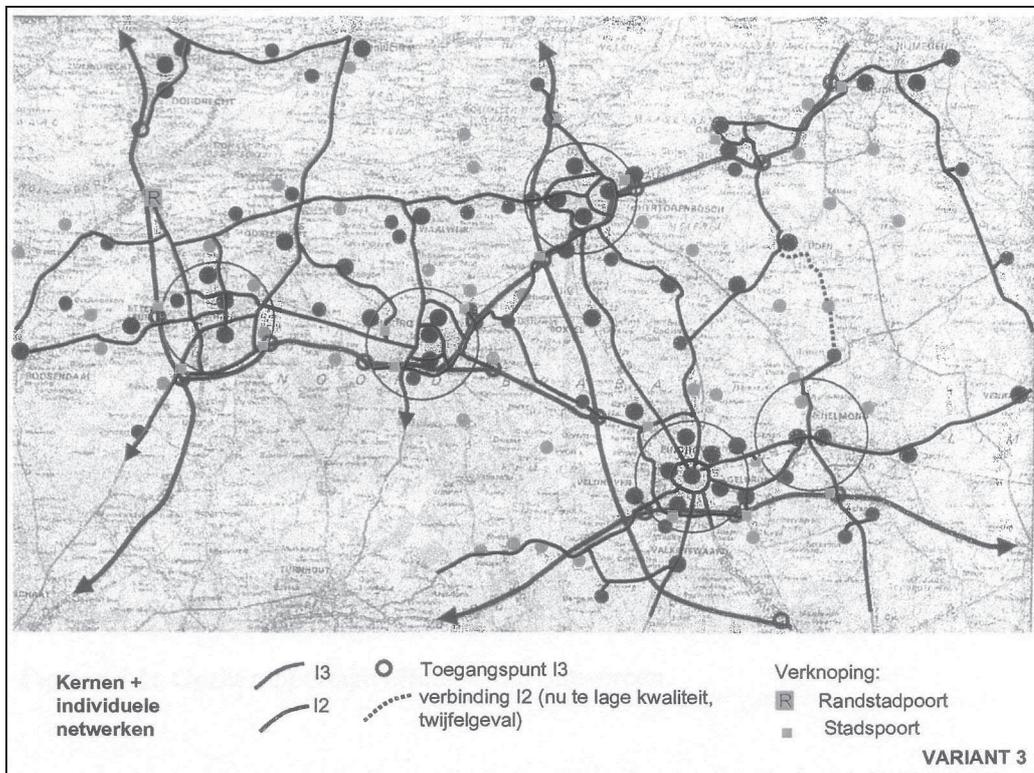
Belangrijkste verschil tussen variant 3 en variant 1 en 2 met betrekking tot het collectieve net is een collectieve nationale lightrailverbinding tussen 's Hertogenbosch en Breda, met een aftakking naar Tilburg. Waar nodig is hier het collectieve regionale netwerk op aangepast.

Redenen om te ontvlechten m.b.v. een nieuw tracé (scheiden) in plaats van te ontvlechten op het bestaande tracé zijn:

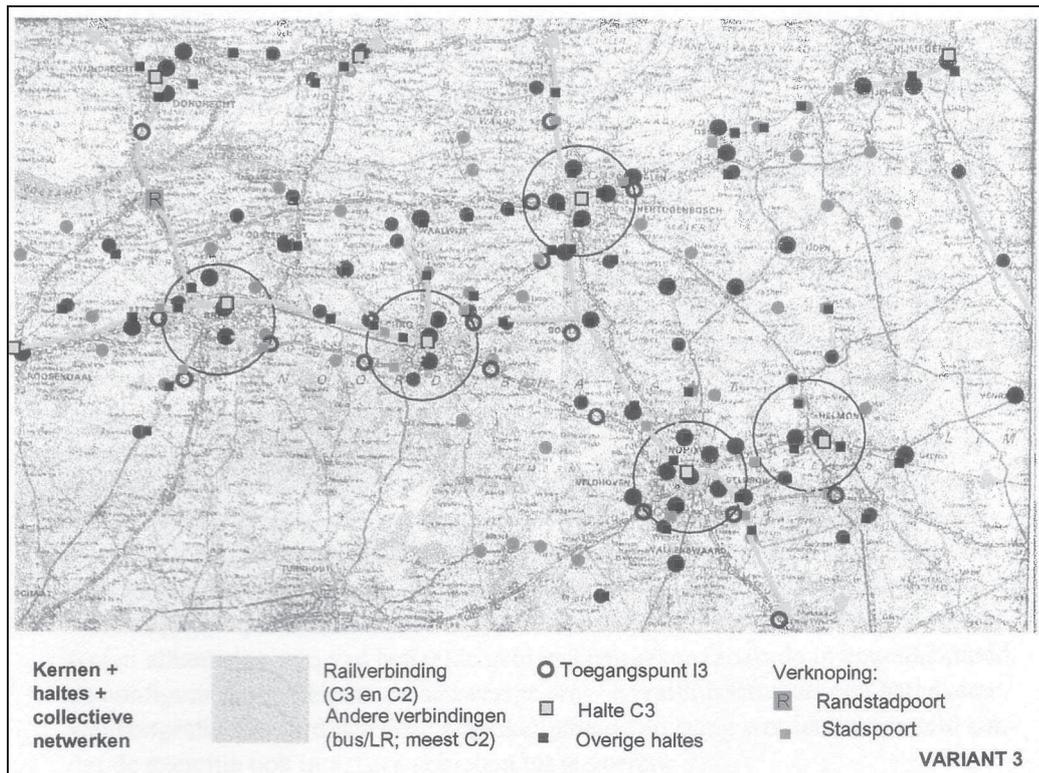
1. dat de route korter wordt of gelijk blijft;
2. dat het belang van de wegcategorie dit legitimeert;
3. dat hierdoor een doorsnijding van het stedelijk gebied voorkomen wordt;
4. dat hierdoor onlogische punten worden opgeheven, of
5. dat er geen alternatieve regionale verbindingen zijn die gebruikt kunnen worden om binnen de stedelijke omgeving te ontvlechten.



FIGUUR 2.18: WEGNUMMERS IN DE HUIDIGE SITUATIE.



FIGUUR 2.19: ONTWERP INDIVIDUEEL NET VARIANT 3



FIGUUR 2.20: ONTWERP COLLECTIEF NET VARIANT 3.

In andere gevallen is ervoor gekozen om de wegen te ontvlechten op het bestaand tracé. Dit betekent het volgende voor de steden (zie Figuur 2.18 voor de wegnummers in de huidige situatie):

Stad	Keuze
Eindhoven	<ul style="list-style-type: none"> <li>• A2 corridor: regionaal en nationaal wel scheiden door nieuw tracé voldoet aan alle vijf redenen.</li> <li>• A67 corridor: niet scheiden omdat redenen 1, 3 en 4 niet gelden.</li> </ul>
Den Bosch	<ul style="list-style-type: none"> <li>• A2 corridor: regionaal en nationaal wel scheiden door nieuw tracé voldoet aan alle vijf redenen, hoewel iets minder dan in Eindhoven door ontbreken van redenen 4.</li> <li>• A/N65 corridor: niet scheiden omdat redenen 1, 2, 4 niet gelden.</li> </ul>
Tilburg	<ul style="list-style-type: none"> <li>• A58 corridor: niet scheiden omdat redenen 1, 3, 4 en vooral 5 niet gelden. Onlogische punt in A58 wel afsnijden.</li> </ul>
Breda	<ul style="list-style-type: none"> <li>• A58 zuid: niet scheiden omdat redenen 1,3,4 niet gelden.</li> <li>• A 16: niet scheiden omdat redenen 3 en 4 niet gelden.</li> </ul>

TABEL 2.4 KEUZES ONTVLECHTEN VARIANT 3.

### 3 INFRASTRUCTUURPLANNING

#### 3.1 Inleiding

Als besloten is dat het wenselijk kan zijn om nieuwe voorzieningen of een nieuwe verbinding (autosnelweg, spoorverbinding, etc.) realiseren is het de vraag waar deze infrastructuur het beste gerealiseerd kan worden. In het algemeen wordt een aantal alternatieven ontwikkeld voor locaties, respectievelijk voor tracés. Handige technieken hierbij zijn de Zeefanalyse en de Potential Surface Analysis (PSA). Met de Zeefanalyse kunnen gebieden gevonden worden die **ongeschikt** zijn voor de functie die we willen alloceren. Dit resulteert in een kaart met het overgebleven geschikte gebied, waaruit daarna de meest geschikte locatie moet worden gevonden. In de Potential Surface Analysis worden de gebieden beoordeeld op hun **geschiktheid** om zo het meest geschikte gebied te vinden. De methoden kunnen afzonderlijk of in combinatie met elkaar gebruikt worden. Indien de methoden worden gecombineerd, gebruiken we eerst de zeefanalyse om de ongeschikte gebieden uit te sluiten. Dit resulteert in een kleiner gebied dat in beginsel geschikt is en waaruit vervolgens met de potential surface analysis de meest geschikte locatie binnen dat gebied kan worden bepaald.

Zijn de alternatieven bepaald, dan worden de alternatieven geëvalueerd op hun effectiviteit en hun effecten op de leefomgeving. Hierbij wordt ingegaan op de economische effecten (zie bijvoorbeeld de Leidraad Economische Effecten Infrastructuur) en de milieuaspecten (m.e.r.).

#### 3.2 De zeefanalyse

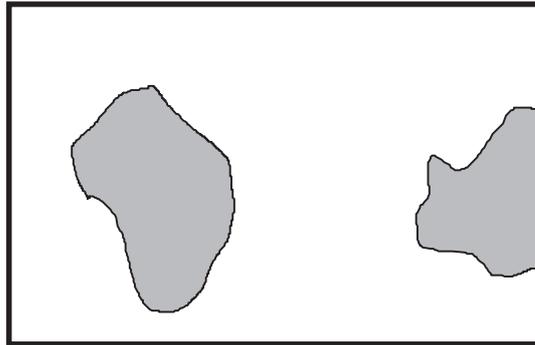
De zeefanalyse (sieve analysis) is een eenvoudig te gebruiken methode, die zowel op regionaal als op lokaal niveau toepasbaar is.

De eerste stap in de zeefanalyse is het opstellen van een lijst factoren, die restricties kunnen opleggen aan de gewenste nieuwe ontwikkeling, bijvoorbeeld slechte draagkracht van de grond, natuurgebied, etc. De volgende stap is het verrichten van onderzoek naar deze factoren en het aangeven van de gebieden die ongeschikt zijn door die factor. De resultaten kunnen worden weergegeven op transparant papier dat over de kaart is gelegd (zie ook en ). De zeefanalyse vindt plaats door alle transparanten op elkaar te leggen, waardoor een gecombineerd beeld van alle factoren in het gebied ontstaat (). Het niet gemarkeerde gebied kan als meest geschikt om tot ontwikkeling te brengen worden aangemerkt. Veelal zal het gebied te groot zijn voor de functie die men in gedachten had. Dan kan van dit overgebleven gebied een verdere analyse worden gemaakt om het meest geschikte gebied daarbinnen te vinden.

In de zeefanalyse wordt dus het principe gebruikt van ja of nee, wel of niet. Tussenvormen zijn er niet. Wanneer voor één factor het oordeel negatief is, wordt een definitief veto over het gebied uitgesproken. De methode is daardoor nogal grof, maar wel vrij snel uit te voeren en zeer geschikt om een eerste selectie te maken, waardoor veel tijd kan worden bespaard wanneer vervolgens andere methoden worden gebruikt.



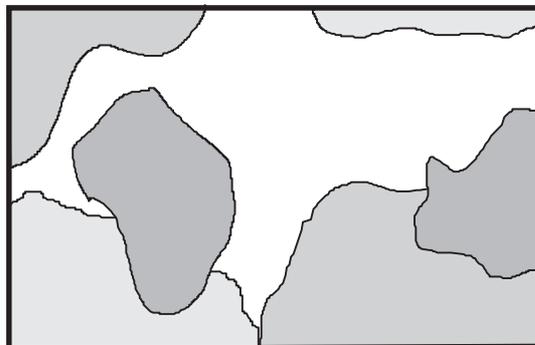
FIGUUR 3.1: GEBIED ONGESCHIKT OP GROND VAN CRITERIUM A



FIGUUR 3.2 GEBIED ONGESCHIKT OP GROND VAN CRITERIUM B



FIGUUR 3.3 GEBIED ONGESCHIKT OP GROND VAN CRITERIUM C



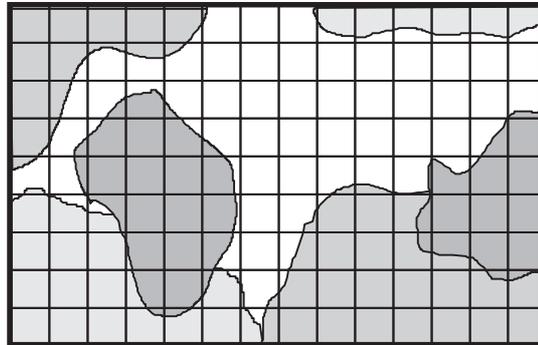
FIGUUR 3.4 RESULTAAT ZEEFANALYSE: WIT IS GESCHIKT EN GRIJS IS ONGESCHIKT GEBIED

### 3.3 Het aanbrengen van een cellulair grid

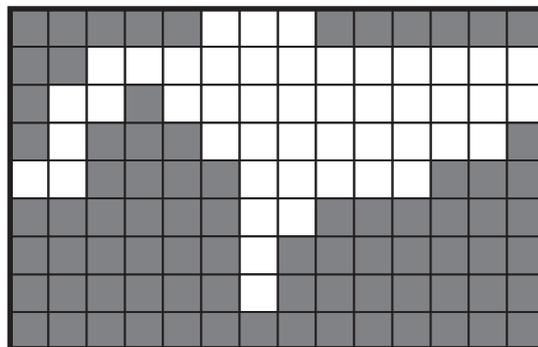
Een kenmerk van zowel de potential surface analysis (PSA) als cellulaire automaten (CA) is het werken binnen een cellulair grid. Voordat met één van beide methoden begonnen wordt, wordt daarom eerst een raster over het gebied gelegd. In het algemeen verdient het de voorkeur dit zo te doen, dat cellen van  $100 * 100 \text{ m}^2$  tot  $250 * 250 \text{ m}^2$  ontstaan, maar in sommige gevallen zal men er voor kiezen grotere cellen te nemen. De maat van de cellen is onder meer afhankelijk van de homogeniteit van het gebied en de minimale omvang van de eenheden waarin de functies gelokaliseerd worden. Gebruikt men kleinere cellen, dan zal de beschikbare informatie van het gebied ook gedetailleerder aanwezig moeten zijn.

In Figuur 3.5 is de indeling van het gebied in cellen weergegeven en Figuur 3.6 toont de vertaling van de resultaten van de zeefanalyse (geschikt en ongeschikt gebied) naar een voor de PSA en CA bruikbare input (geschikte en ongeschikte cellen). Bij de 'vertaling' is een cel die voor meer dan 50% ongeschikt was, als ongeschikt aangemerkt. Bedenk dat ook door de exacte ligging en de

precieze maat van het raster sommige cellen net wel of net niet als geschikt worden aangemerkt. Het omzetten van analoog naar digitaal zal altijd gepaard gaan met verlies aan informatie. Dit is onvermijdbaar.



FIGUUR 3.5 OVER HET GEBIED WORDT EEN RASTER GELEGD



FIGUUR 3.6 OVERZICHT GESCHIKTE (WITTE) EN ONGESCHIKTE (GRIJZE) CELLEN

Zoals blijkt uit ook Figuur 3.1 tot en met Figuur 3.4 is het om een zeefanalyse uit te kunnen voeren absoluut niet noodzakelijk vooraf een cellulair grid aan te brengen. Het is echter wel mogelijk. Over de kaart van het gebied wordt dan eerst een raster gelegd en vervolgens wordt bekeken of over een cel al dan niet een veto moet worden uitgesproken op grond van een criterium. Het voordeel van deze werkwijze is dat reeds afgevalen cellen niet voor elk volgend criterium nogmaals de zeefanalyse moeten doorlopen.

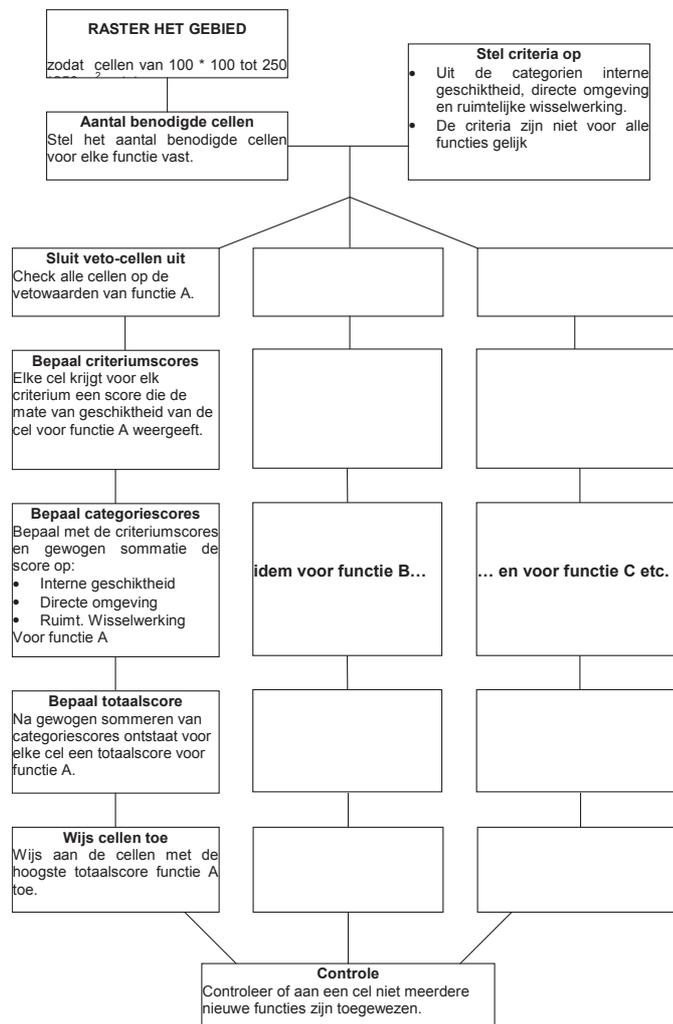
### Gevoeligheid

Tussen de resultaten van een zeefanalyse bij vooraf en achteraf rasteren kunnen kleine verschillen bestaan. Dit kan het beste worden geïllustreerd aan de hand van een voorbeeld. Beschouw uit Figuur 3.6 de zevende cel van de onderste rij. Zoals in deze figuur te zien is, wordt deze cel als ongeschikt aangemerkt wanneer ná de eigenlijke zeefanalyse wordt gerasterd, omdat de cel voor meer dan 50% ongeschikt is. Stel nu dat vooraf was gerasterd. Noch op grond van criterium A, noch op grond van criterium B, noch op grond van criterium C zou de cel ongeschikt verklaard zijn, omdat volgens geen van deze criteria de cel voor meer dan 50% ongeschikt is. Slechts criterium B en C samen maken de cel voor meer dan 50% ongeschikt, hetgeen alleen bij achteraf rasteren tot uitdrukking komt.

## 3.4 Potential surface analysis

De Potential Surface Analysis is een methode om systematisch de geschiktheid van een gebied voor een specifieke ontwikkeling vast te stellen en om de resultaten op een overzichtelijke manier te presenteren. Daarvoor moet het gebied worden ingedeeld in cellen, zoals in de vorige paragraaf beschreven. Met behulp van een aantal criteria worden de cellen beoordeeld op hun mogelijkheden. De werkwijze is in geïllustreerd. Nadat het gebied gerasterd is, wordt op basis van het ruimtelijk programma het benodigde aantal nieuwe cellen voor een functie bepaald. Een functie van een cel kan zijn wonen, landbouw, natuur, industrie, etc. Voor elke functie toetsen we de geschiktheid van de cel met behulp van vooraf opgestelde criteria. Op die manier wordt dus tot uitdrukking gebracht

welke cel het meest geschikt is voor welke functie. Uiteindelijk kunnen we aan een cel of aan cellen, die het hoogst scoren voor een zekere functie, die functie toewijzen.



FIGUUR 3.7 WERKWIJZE POTENTIAL SURFACE ANALYSIS

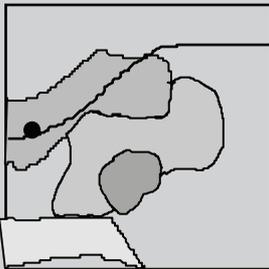
De te gebruiken criteria kunnen worden verdeeld in drie categorieën:

1. interne geschiktheid (suitability): hierbij gaat het om de eigenschappen van de cel zelf, zoals draagkracht van de grond, aankoopkosten en huidig grondgebruik.
2. directe omgeving (surroundings): het betreft hier de acht direct aangrenzende cellen, die door hun functie/grondgebruik, de te beschouwen cel mogelijk beïnvloeden.
3. ruimtelijke wisselwerking: nu worden alle overige cellen beschouwd. Het gaat dan bijvoorbeeld om afstanden (naar het centrum e.d.) of om overlast van een nabij gelegen weg.

Aan de hand van een voorbeeld zal de werking van de Potential Surface Analysis verder worden verduidelijkt.

**VOORBEELD 3.1 POTENTIAL SURFACE ANALYSIS**

Gegeven is de volgende situatie:



	A	B	C	D	E
1	A	A	A	A	A
2	A	I	I	W	A
3	I	W	W	W	A
4	A	W	Vz	A	A
5	R	R	A	A	A

- A = Agrarisch
- I = Industrie
- W = Wonen
- R = Recreatie
- Vz = Voorzieningen
- = Aansluiting ASW

FIGUUR 1 OVERZICHT GEBIED EN RASTERING.

Op de kaart wordt het huidige grondgebruik aangegeven. De cellen hebben een afmeting van 250 \* 250 m<sup>2</sup>. Er is behoefte aan extra grond voor woningbouw en voor industrie. Voor beide is een gebied ter grootte van 1 cel nodig. We bepalen de meest geschikte cellen met de Potential Surface Analysis. Deze combineren we met een zeefanalyse. Om te beginnen zeven we alle cellen die geen agrarische bestemming hebben. Ook alle cellen waarvan de grondwaterstand minder dan 30 cm beneden maaiveld staat worden bij voorbaat geschrapt.

V				
V				
V			V	
				V

- = veto (grondwaterstand < 30 cm beneden maaiveld)
- = Veto (niet-agrarisch)

FIGUUR 2 ZEEFANALYSE.

Vervolgens beoordelen we de **interne geschiktheid** van elk van de overgebleven cellen. In dit voorbeeld laten we de interne geschiktheid slechts afhangen van één criterium, namelijk de diepte van de draagkrachtige laag. We moeten zowel voor de functie wonen als voor de functie industrie de geschiktheid bepalen. Hier nemen we aan dat voor de functies wonen en industrie hetzelfde criterium kan worden gebruikt. Daardoor hoeven we de score voor interne geschiktheid slechts eenmaal te bepalen.

**Diepte draagkrachtige laag**

De diepte waarop zich een draagkrachtige laag bevindt, is mede bepalend voor de kosten van de fundering. Hoe hoger (dus minder diep) de draagkrachtige laag zit, des te gunstiger. De diepte van de laag beneden maaiveld is weergegeven in figuur 3. De dieptes worden geschaald volgens:

$$(max+min - score)/max$$

Daardoor komen alle scores tussen 0 en 1.

	9.9	10.1	10.7	10.1
				9.6
				7.4
		6.1	6.9	

	0.64	0.63	0.57	0.63
				0.67
				0.88
		1.00	0.93	

FIGUUR 3 AFSTAND TOT DRAAGKRACHTIGE LAAG ONDER MAAIVELD IN METERS EN GESCHAALD.

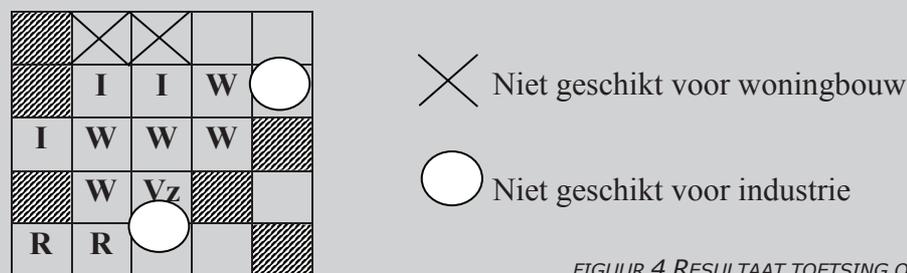
Rekenvoorbeeld cel C1 (midden, boven)

score = 10.1 meter  
 max = 10.7 meter  
 min = 6.1 meter

$$(10.7 + 6.1 - 10.1)/10.7 = 0.6262 \approx 0.63$$

Aangezien de diepte van de draagkrachtige laag het enige criterium is in de categorie Interne geschiktheid, is de score in het rechter deel van figuur 4 tevens de categoriescore voor Interne geschiktheid. Zoals eerder opgemerkt gelden deze scores in dit geval zowel voor wonen als voor industrie.

Uit de categorie **directe omgeving** is een criterium afkomstig dat stelt dat een nieuwe woningcel niet aan twee bestaande industriecellen mag grenzen (of raken). Andersom wordt gesteld dat een nieuwe cel voor industrie niet mag grenzen aan twee cellen waar reeds woonbebouwing en/of recreatie is gerealiseerd. Aldus wordt onderstaande figuur verkregen.



FIGUUR 4 RESULTAAT TOETSING OP "DIRECTE OMGEVING".

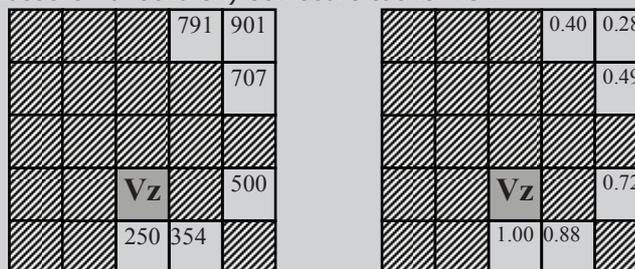
De laatste categorie criteria is de categorie **ruimtelijke wisselwerking**. In dit voorbeeld hanteren we voor beide functies twee criteria. Voor de functie wonen is dat de afstand tot de cel met voorzieningen en de geluidsbelasting t.g.v. de autosnelweg. Voor de functie industrie is het de afstand tot de aansluiting van de autosnelweg en de afstand tot de woongebieden.

Wonen	Industrie
Afstand tot voorzieningen	Afstand tot aansluiting autosnelweg
Geluidsniveau (t.g.v. autosnelweg)	Afstand tot woongebieden

TABEL 1 OVERZICHT VAN CRITERIA IN DE CATEGORIE "RUIMTELIJKE WISSELWERKING" VOOR WONEN EN INDUSTRIE.

Wonen; afstand tot voorzieningen

Alle voorzieningen zijn geconcentreerd in één cel, in figuur 5 aangegeven met Vz. Van elke cel moet dus de afstand tot die ene cel worden bepaald. Hierna kunnen we door standaardiseren (klasseren of schalen) een score toekennen.



FIGUUR 5 AFSTANDEN TOT CEL MET VOORZIENINGEN IN METERS EN GESCHAALD.

Zoals aan het begin van dit voorbeeld opgemerkt, meten de cellen 250 \* 250 m<sup>2</sup>. De bepaling van de afstand van een cel tot de voorzieningencel gebeurt dan eenvoudigweg met behulp van de stelling van Pythagoras.

Voorbeeld: cel D1

$$D_{D1/C4} = \sqrt{(750^2 + 250^2)} = 791$$

De grootste afstand bedraagt 901 m, de kleinste 250m. We schalen de waarden volgens:  $(S_{max} + S_{min} - S_i) / S_{max}$ .

met  $S_{max} = 901$  en  $S_{min} = 250$

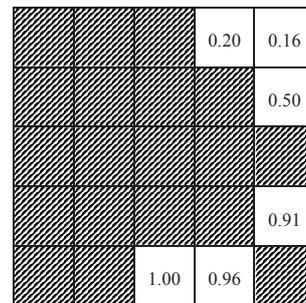
De geschaalde waarde voor D1 wordt dan bijvoorbeeld:  $(901 + 250 - 791) / 901 = 0.40$

**Wonen; geluidsbelasting**

Een hoog geluidsniveau kan de woonomgeving verstoren. Het maximum wordt gesteld op 55 dB. Daarboven zijn speciale maatregelen en/of ontheffingen nodig om te kunnen bouwen. De score wordt voor die gebieden gesteld op 0,1. Beneden 45 dB is er geen merkbaar verlies aan communicatiemogelijkheden binnenshuis. Daarom krijgen gebieden met een geluidsbelasting onder 45 dB een optimale score: 1,0. Verder verlopen de scores niet lineair, zoals te zien is in tabel 2.

Geluidsniveau dB(A)	Score
>55	0,1
50 < x < 55	0,5
45 < x < 50	0,8
< 45	1,0

TABEL 2 KLASSENINDELING GELUIDSNIVEAU.

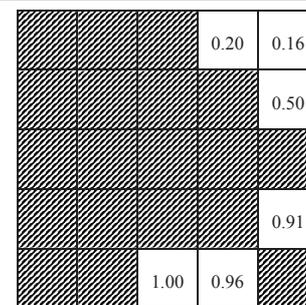


FIGUUR 6 SCORES OP GELUIDSNIVEAU

**Wonen; totaal ruimtelijke wisselwerking**

Bij het criterium geluidsbelasting zijn scores tussen 0 en 1 toegekend, bij afstand tot voorzieningen is geschaald tussen 0 en 1. De scores kunnen gewogen gesommeerd worden. Geluidsbelasting wordt 2 maal belangrijker geacht dan de afstand tot de voorzieningen.

Het gewogen sommeren gebeurt via de volgende formule. Door te delen door de som van de wegingsfactoren valt de categoriescore altijd weer terug tussen 0 en 1.



FIGUUR 7 CATEGORIESCORE RUIMTELIJKE WISSELWERKING WONEN

$$S_i = \frac{\sum(G_n * W_{i,n})}{\sum G_n}$$

met  $S_i$  = score van cel i (hier: score op interne geschiktheid)  
 $G_n$  = gewicht toegekend aan criterium n  
 $W_n$  = score cel i op criterium n

Rekenvoorbeeld cel E2:

Score op geluidsbelasting = 0,5      wegingsfactor = 2  
 Score op afstand tot voorz. = 0,49      wegingsfactor = 1

$$\text{Score ruimtelijke wisselwerking} = (0,5 * 2 + 0,49 * 1) / (2 + 1) = 0,50$$

**Industrie; afstand tot aansluiting autosnelweg**

Voor bepaalde industrie/bedrijven is een goede aansluiting op het landelijk hoofdwegennet een belangrijke factor bij de keuze van een vestigingsplaats. In figuur 8 zijn de geschaalde

waarden weergegeven. De berekening gebeurt op dezelfde manier als voor het criterium "afstand tot voorzieningen" bij de functie wonen.

	1.00	0.87	0.69	0.50
●				
				0.58
		0.69		

● = aansluiting autosnelweg

FIGUUR 8 GESCHAALDE SCORES OP AFSTAND TOT AANSLUITING AUTOSNELWEG.

**Industrie; afstand tot woongebieden**

Het tweede criterium is de afstand van de nieuwe industriecel tot de woongebieden, in verband met de beperking van het aantal af te leggen kilometers voor woon-werk verkeer. Hoe kleiner de afstand, des te beter dus. Dit moet niet verward worden met het onder de categorie "directe omgeving" geldende criterium, waarbij industriecellen niet te dicht bij woongebieden mochten liggen (aan twee of meer grenzen). Over die cellen is inmiddels een veto uitgesproken.

Rekenvoorbeeld cel B1:

$$d_{B1/B3} = 500$$

$$d_{B1/B4} = 750$$

$$d_{B1/C3} = \sqrt{(250^2 + 500^2)} = 559$$

$$d_{B1/D2} = \sqrt{(500^2 + 250^2)} = 559$$

$$d_{B1/D3} = \sqrt{(500^2 + 500^2)} = 707$$

$$\sum_i d_{b1/i} / 5 = (500 + 750 + 559 + 559 + 707) / 5 = 615$$

waarbij j telkens een van de 5 bestaande woongebieden is.

Vervolgens worden de scores geschaald volgens  $(S_{max} + S_{min} - S_i) / S_{max}$ .

Rekenvoorbeeld voor cel B1:

$$S_{max} = 716$$

$$S_{min} = 552$$

$$S_{B1} = 615$$

$$S_{B1, geschaald} = (716 + 552 - 615) / 716 = 0,91$$

**Industrie; totaal ruimtelijke wisselwerking**

Om de categoriescore voor ruimtelijke wisselwerking te verkrijgen, worden de scores gewogen gesommeerd. De afstand tot de aansluiting op de autosnelweg wordt even zwaar gewogen als de gemiddelde afstand tot de 5 woongebieden. Door te delen door de som van de wegingsfactoren blijven de scores tussen 0 en 1.

Rekenvoorbeeld voor cel B1:

$$(0,91 * 1 + 1,00 * 1) / (1 + 1) = 0,96$$

	615	552	583	716
			W	
	W	W	W	
	W			602
			615	

FIGUUR 9 GEMIDDELDE AFSTAND TOT WOONGEBIEDEN

	0.91	1.00	0.96	0.77
			W	
	W	W	W	
	W			0.93
			0.91	

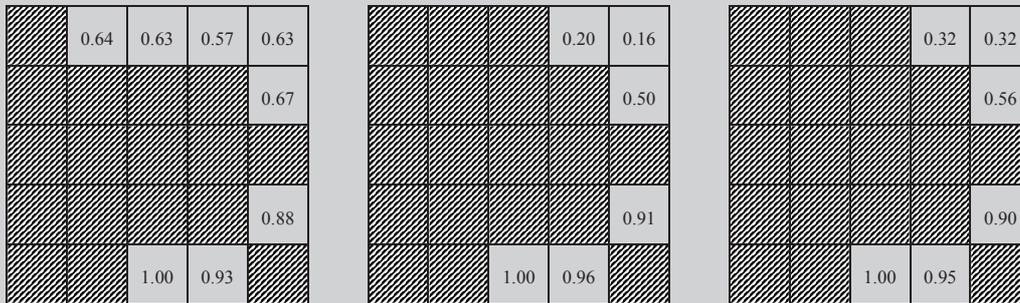
FIGUUR 10 GEMIDDELDE AFSTAND TOT WOONGEBIEDEN, GESCHAALD.

	0.96	0.94	0.83	0.64
				0.76
			0.80	

FIGUUR 11 CATEGORIESCORE RUIMTELIJKE WISSELWERKING INDUSTRIE.

Tenslotte de bepaling van de totaalscores. De categoriescores van interne geschiktheid en ruimtelijke wisselwerking moeten nu gewogen gesommeerd worden.

Voor wonen stellen we de ruimtelijke wisselwerking twee maal zo belangrijk als de interne geschiktheid. Voor industrie geldt een andere verhouding tussen de wegingsfactoren, namelijk 2:3.

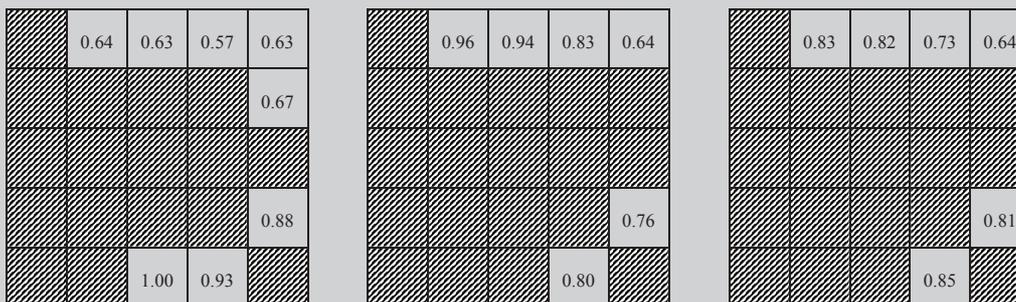


FIGUUR 12 SCORES VOOR DE FUNCTIE WONEN: INTERNE GESCHIKTHEID (LINKS), RUIMTELIJKE WISSELWERKING (MIDDEN) EN DE TOTAALSCORE (RECHTS).

Rekenvoorbeeld cel B1:

interne geschiktheid score = 0.57 wegingsfactor = 1  
 ruimtelijke wisselwerking score = 0.20 wegingsfactor = 2

totaalscore cel D1 voor functie wonen =  $(1 * 0.57 + 2 * 0.20) / (1 + 2) = 0.32$



FIGUUR 13 SCORES VOOR DE FUNCTIE INDUSTRIE: INTERNE GESCHIKTHEID (LINKS), RUIMTELIJKE WISSELWERKING (MIDDEN) EN DE TOTAALSCORE (RECHTS).

Rekenvoorbeeld cel B1:

interne geschiktheid score = 0.64 wegingsfactor = 2  
 ruimtelijke wisselwerking score = 0.96 wegingsfactor = 3

totaalscore cel B1 voor functie industrie =  $(2 * 0.64 + 3 * 0.96) / (2 + 3) = 0.83$

De meest geschikte cel voor wonen is volgens deze PSA cel C5 (score = 1,00)  
 De meest geschikte cel voor industrie is volgens deze PSA cel D5 (score = 0,85)

### 3.5 Bepaling effecten van alternatieven

In deze paragraaf staan grote infrastructuurprojecten centraal. Als belangrijkste voorbeeld wordt de aanleg van een wegverbinding gebruikt, maar de verschillende effecten die worden bekeken zijn ook relevant voor andere typen infrastructuur.

Voor grote wegenprojecten geldt de Tracé-MER procedure. Deze bestaat uit de volgende stappen:

1. Aanvangsbeslissing en verkenning
2. Startnotitie
3. Trajectnota MER
4. Standpunt
5. Ontwerp tracébesluit (OTB)
6. Tracébesluit
7. Uitvoeringsfase

Overigens is recentelijk het advies van de Commissie Elverding uitgebracht waarin aanbevelingen staan voor een snellere en betere besluitvorming. Deze aanbevelingen kunnen tot een andere procedure leiden.

In de Tracé-MER procedure wordt naar een groot aantal effecten van infrastructuurprojecten gekeken. Enerzijds gaat het om milieu aspecten zoals geluid, luchtkwaliteit, energieverbruik en CO<sub>2</sub>, en anderzijds om economische aspecten als de kosten en baten. Een derde belangrijk aspect is de veiligheid. Hier gaat het om verkeersveiligheid en externe veiligheid: het risico voor personen in de omgeving van de infrastructuur als gevolg van een incident op de infrastructuur (bijvoorbeeld een ongeluk met een vrachtwagen met chemische stoffen).

In deze paragraaf wordt een aantal van deze aspecten kort besproken.

#### 3.5.1 Milieu-effecten

##### *Geluid*

Voor de berekening van hoeveelheid geluid zijn twee rekenmethodes beschikbaar. De eerste is een vereenvoudigde methode die goed bruikbaar is voor algemene analyses. De tweede methode berekent gedetailleerd het geluidsniveau rekening houdend met alle objecten in de omgeving van de weg (Reken- en meetvoorschrift Geluidhinder, VROM, 2009).

Om inzicht in te geven in de belangrijkste relaties en componenten wordt kort de eerste rekenmethode (SRM I) beschreven. Het equivalente geluidsniveau  $L_{Aeq}$  in dB(A) vanwege het wegverkeer wordt gevonden uit:

$$L_{Aeq} = E + C_{optrek} + C_{reflectie} - D_{afstand} - D_{lucht} - D_{bodem} - D_{meteo}$$

##### Waarin

- $E$ : emissiegetal (maat voor de bronsterkte en afhankelijk van maatgevende verkeersintensiteiten, snelheden en wegdektype);
- $C_{optrek}$ : correctieterm in verband met eventuele met verkeerslichten geregelde kruisingen van wegen, of in verband met obstakels in de weg die de gemiddelde snelheid sterk verlagen;
- $C_{reflectie}$ : correctieterm in verband met eventuele reflecties tegen bebouwing of andere verticale vlakken;
- $D_{afstand}$ : term die de verzwakking als gevolg van de afstand in rekening brengt;
- $D_{lucht}$ : term die de verzwakking als gevolg van luchtdemping in rekening brengt;
- $D_{bodem}$ : term die de verzwakking als gevolg van het bodemeffect in rekening brengt;
- $D_{meteo}$ : term die het verschil tussen de meteorologisch gemiddelde geluidsoverdracht en de als referentie genomen meewind situatie in rekening brengt.

Het emissiegetal is energetische sommatie van de emissiegetallen per voertuigtype:

$$E = 10 \lg \left( 10^{\frac{E_{lv}}{10}} + 10^{\frac{E_{mv}}{10}} + 10^{\frac{E_{zv}}{10}} \right)$$

met:

$E_{lv}$ ,  $E_{mv}$  en  $E_{zv}$  de emissiegetallen van respectievelijk de lichte (index  $lv$ ), middelzware (index  $mv$ ) en de zware (index  $zv$ ) motorvoertuigen.

De emissiegetallen zelf zijn een functie van de verkeerssamenstelling en de maatgevende intensiteit:

$$E_x = \alpha + \beta \lg \left( \frac{v_x}{v_0} \right) + 10 \lg \left( \frac{Q_x}{v_x} \right) + C_{wegdek,x}$$

met:

$v_0$ : referentiesnelheid

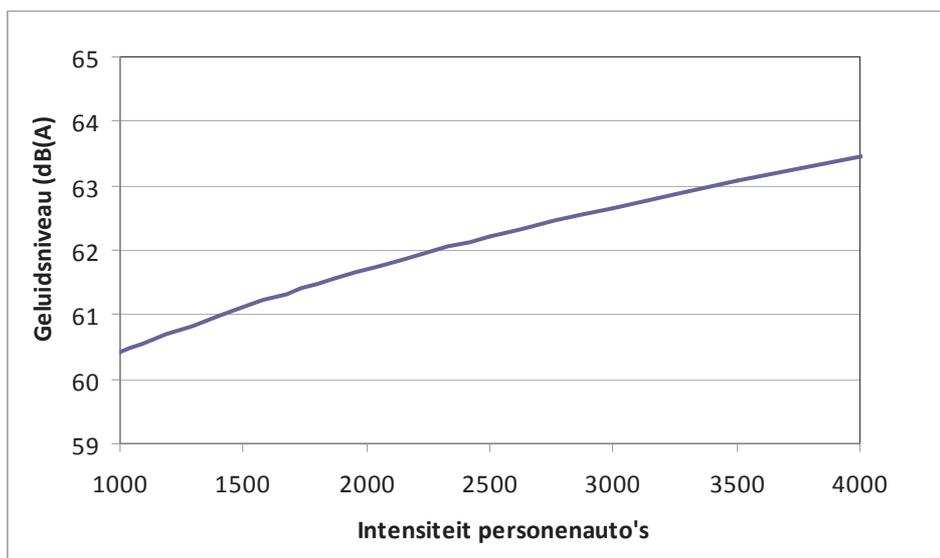
$v_x$ : snelheid voertuigtype  $x$

$Q_x$  maatgevende intensiteit voertuigtype  $x$

$C_{wegdek,x}$  Correctiefactor voor wegdeksoort voor voertuigtype  $x$

In de praktijk speelt met name het aandeel vrachtverkeer en de verdeling over zwaar en middelzwaar een grote rol. Voor de beoordeling van het geluidsniveau wordt onderscheid gemaakt naar een aantal perioden per dag, waarbij voor de nacht de laagste geluidsniveaus worden gehanteerd.

Deze formules laten duidelijk zien dat voor een geluidsberekening een groot aantal omgevingsfactoren nodig zijn. Verder zijn gedetailleerde gegevens over de verkeerssamenstelling noodzakelijk (voertuigtype, verdeling over perioden van de dag). Ten derde is de relatie tussen geluidsniveau en de hoeveelheid verkeer logaritmisch (zie Figuur 3.8). Er zijn dus forse reducties in intensiteiten noodzakelijk om een lager geluidsniveau te halen. Vaak zijn dan maatregelen rondom de weg effectiever.



FIGUUR 3.8: VOORBEELD RELATIE VERKEERSINTENSITEIT EN GELUIDSNIVEAU

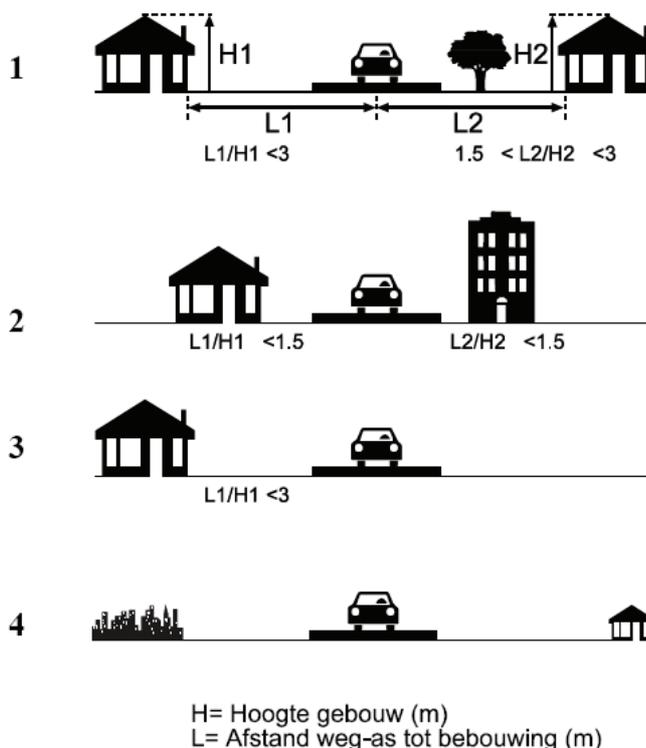
*Luchtkwaliteit*

Bij de beoordeling van de luchtkwaliteit gaat het om een groot aantal stoffen. In de praktijk zijn met name NO<sub>2</sub> en fijnstof (PM10) van belang. Deze stoffen hebben namelijk directe consequenties voor de gezondheid. Ook hiervoor zijn standaard reken- en meetvoorschriften (Handreiking meten en rekenen luchtkwaliteit, VROM, 2007). En ook hier zijn er twee rekenmethodes: een eenvoudige rekenmethode voor wegen binnen de bebouwde kom en een uitgebreide methode voor wegen buiten de bebouwde kom. Bij deze laatste methode is gedetailleerde informatie nodig over de directe omgeving van de weg.

Als illustratie een korte beschrijving van Standaardrekenmethode 1, die beschikbaar is in het model CAR. Bij deze methode wordt onderscheid gemaakt tussen vier typen wegen. De wegtypen worden beschreven aan de hand van de bebouwing langs de weg:

1. beide zijden van de weg min of meer aaneengesloten bebouwing, afstand tussen weg-as en gevel is kleiner dan 3 maal de hoogte van de bebouwing, maar groter dan 1,5 maal de hoogte van de bebouwing;
2. beide zijden van de weg min of meer aaneengesloten bebouwing, afstand tussen weg-as en gevel is kleiner dan 1,5 maal de hoogte van de bebouwing;
3. éénzijdige bebouwing, weg met aan één zijde min of meer aaneengesloten bebouwing op een afstand van minder dan 3 maal de hoogte van de bebouwing;
4. alle wegen in een stedelijke omgeving, anders dan wegtype 1, 2 en 3.

Het zal duidelijk zijn dat bij nauwe straten de luchtkwaliteit al gauw slecht zal zijn: de stoffen kunnen zich immers niet gemakkelijk verspreiden. In het vakgebied wordt dan gesproken van streetcanyons.



FIGUUR 3.9: WEGTYPEN VOOR BEREKENING LUCHTKWALITEIT

De luchtkwaliteit wordt gemeten in concentraties. Voor zowel NO<sub>2</sub> en PM10 geldt een toegestane concentratie van maximaal 40 µgr/m<sup>3</sup>. De concentratie op een maatgevende afstand uit de weg (5 meter voor NO<sub>2</sub> en 10 meter voor PM10) bestaat uit een achtergrondconcentratie en een bijdrage door het wegverkeer. De achtergrondconcentratie bestaat uit emissies van andere bronnen en natuurlijk aanwezige stoffen, bijvoorbeeld fijne zanddeeltjes bij fijnstof. Deze achtergrondconcentraties verschillen hierdoor sterk per locatie. Het RIVM stelt jaarlijks een kaart

vast met de te hanteren achtergrondconcentraties. De bijdrage van het verkeer wordt berekend met de formule (afhankelijk van de soort stof die wordt beschouwd kan de berekening afwijken):

$$E = \left[ \frac{(1 - F_s) \cdot ((1 - (F_m + F_v + F_b)) \cdot E_p + F_m \cdot E_m + F_v \cdot E_v + F_b \cdot E_b) + F_s \cdot ((1 - (F_m + F_v + F_b)) \cdot E_{p,d} + F_m \cdot E_{m,d} + F_v \cdot E_{v,d} + F_b \cdot E_{b,d})}{24 \cdot 3600} \right] \cdot 1000 \cdot N$$

Met:

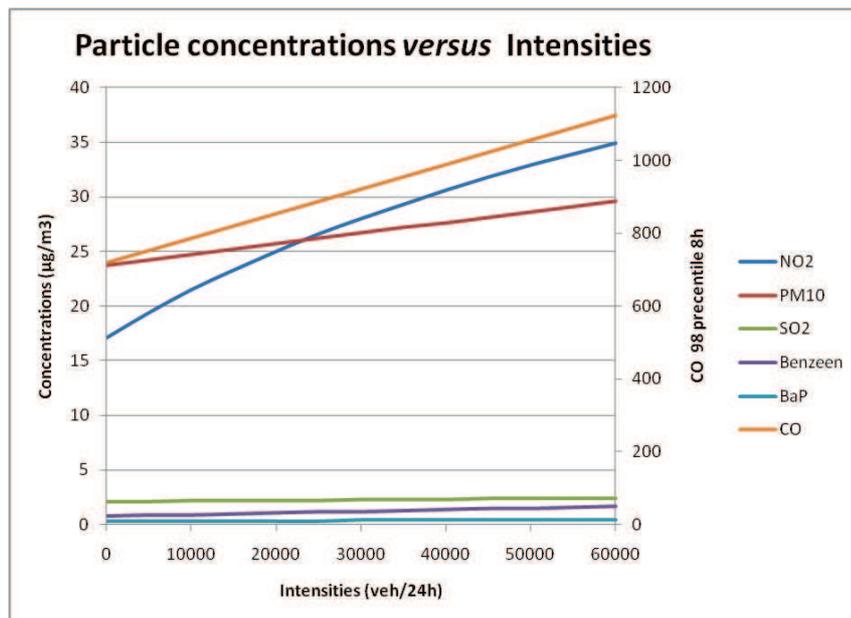
- $E$  Emissie ( $\mu\text{gr}/\text{m}/\text{s}$ )
- $N$  Aantal voertuigen per etmaal
- $F_m$  Fractie middelzwaar vrachtverkeer
- $F_v$  Fractie zwaar vrachtverkeer
- $F_b$  Fractie autobussen
- $E_p$  Emissiefactor voor personenverkeer ( $\text{gr}/\text{km}$ )
- $E_m$  Emissiefactor voor middelzwaar vrachtverkeer ( $\text{gr}/\text{km}$ )
- $E_z$  Emissiefactor voor zwaar vrachtverkeer ( $\text{gr}/\text{km}$ )
- $E_b$  Emissiefactor voor autobussen ( $\text{gr}/\text{km}$ )
- $F_s$  Fractie stagnerend verkeer
- $E_{*,d}$  Emissiefactor voor voertuigklasse \* voor stagnerend verkeer ( $\text{gr}/\text{km}$ )

De te hanteren emissiefactoren per voertuigklasse worden evenals de achtergrondconcentraties jaarlijks door het RIVM vastgesteld. Met de berekende emissie kan vervolgens de bijdrage aan de concentratie worden berekend:

$$C_{jm\text{-bijdrage}} = 0,62 \cdot E \cdot \Theta \cdot F_b \cdot F_{regio}$$

Met:

- $C_{jm\text{-bijdrage}}$  jaargemiddelde concentratiebijdrage verkeer
- $F_b$  bomenfactor
- $F_{regio}$  regiofactor met betrekking tot meteorologie
- $\Theta$  verdunningsfactor

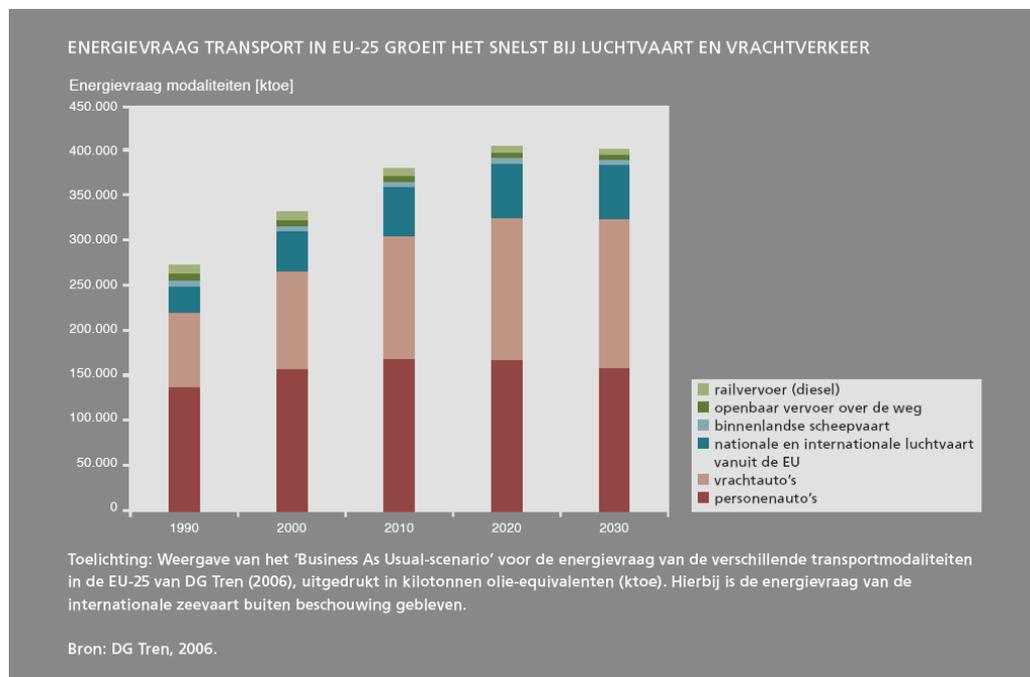


FIGUUR 3.10: VOORBEELD RELATIE TUSSEN INTENSITEITEN EN CONCENTRATIES STOFFEN IN DE LUCHT Van boven naar beneden vanaf de linkeras: CO, PM10, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, Benzeen en Bap

Kern is dat ook hier gedetailleerde informatie nodig over de soorten verkeer. De relatie tussen luchtkwaliteit en hoeveelheid verkeer is in vergelijking met die voor de geluidsbelasting redelijk lineair (dit geldt in mindere mate voor de gedetailleerde rekenmethode). Belangrijk is te bedenken dat ook de aanwezige achtergrondconcentraties een rol spelen. Sommige regio's zijn daarmee kwetsbaarder wat de bijdrage van het verkeer betreft dan andere. Figuur 3.10 geeft een beeld van het verloop van de concentraties van de diverse stoffen als functie van de verkeersintensiteit. De website [www.saneringstool.nl](http://www.saneringstool.nl) geeft een gedetailleerd beeld van de (verwachte) luchtkwaliteit voor NO<sub>2</sub> en PM10 in Nederland.

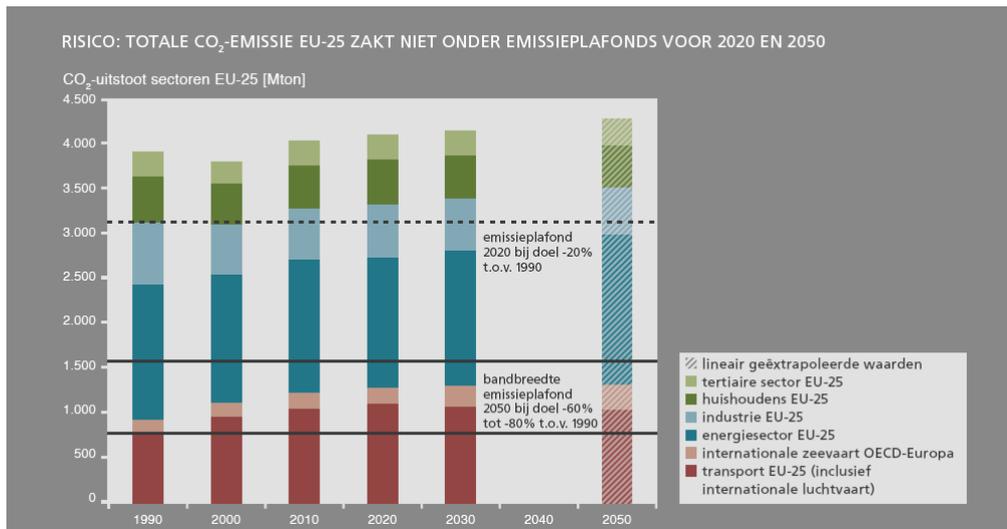
*Energie en CO<sub>2</sub>*

Transport vraagt energie. In de studie Een prijs voor elke reis (Raad voor Verkeer en Waterstaat, VROM-Raad en Algemene Energieraad, 2008) is op Europees niveau aangegeven hoe het energie verbruik is en in de toekomst zal verlopen. Personenauto's en vrachtauto's hebben hierin een groot aandeel. Duidelijk is te zien dat op langere termijn een stabilisatie wordt verwacht en dat de grootste groei is veroorzaakt door luchtverkeer en vrachtauto's.



FIGUUR 3.11 ENERGIEVRAAG TRANSPORT IN EUROPA (RAPPORT EEN PRIJS VOOR ELKE REIS)

Het energieverbruik is sterk gecorreleerd met CO<sub>2</sub> uitstoot. Gezien de EU doelen de uitstoot fors te reduceren is dit een belangrijk aandachtspunt. Bij de meest ambitieuze doelstellingen is alleen de uitstoot van transport al meer dan het toegestane niveau.

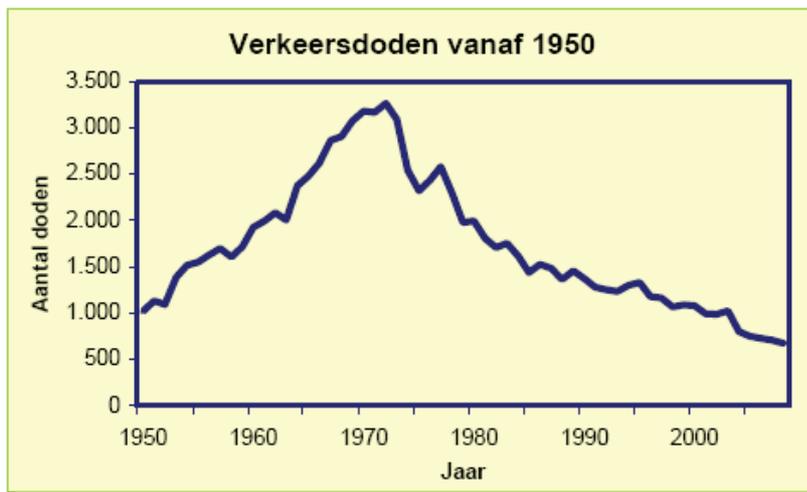


FIGUUR 3.12: VERWACHT VERLOOP CO<sub>2</sub>-EMISSIE VOOR DE EU-25

Het energieverbruik en de CO<sub>2</sub> uitstoot zijn beide nauw gecorreleerd met het voertuigkilometrage in combinatie met het verbruik respectievelijk de uitstoot van het gebruikte voertuig. Beleid gericht op besparing van energie en reductie van CO<sub>2</sub> richt dan ook op het beperken van het kilometrage van energieverbruikende vervoermiddelen: andere vervoerwijzen, efficiëntere vervoermiddelen, kortere verplaatsingen, andere brandstoffen, etc.

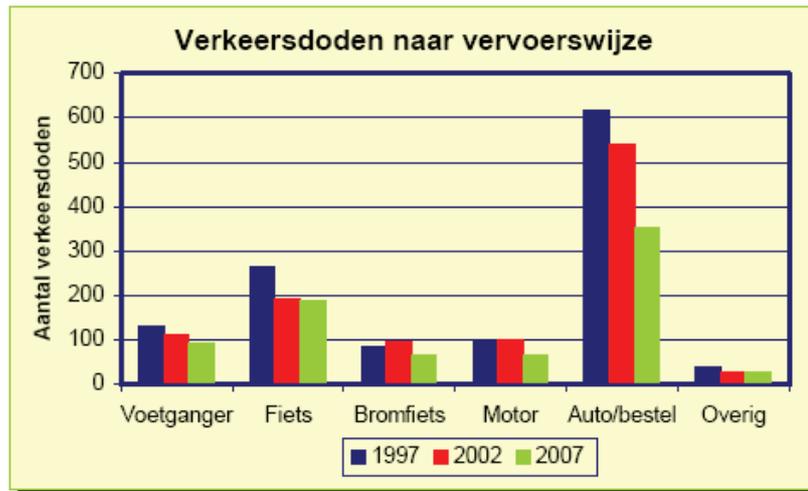
### 3.5.2 Verkeersveiligheid

Belangrijke indicatoren voor verkeersveiligheid zijn de aantallen verkeersdoden en ernstige letselgevallen. De afgelopen jaren hebben beide indicatoren een duidelijke daling laten zien.

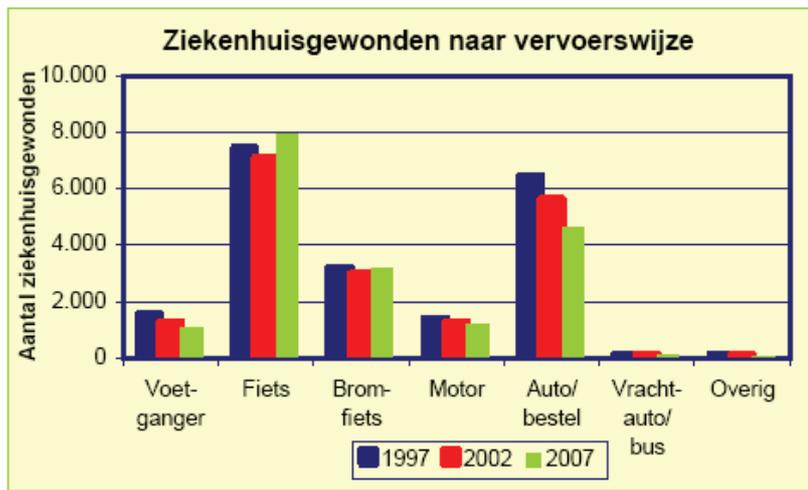


FIGUUR 3.13 GEREGISTREERD AANTAL VERKEERSDODEN 1950-2008 (FACTSHEET VERKEERSSSLACHTOFFERS IN NEDERLAND, SWOV, 2009)

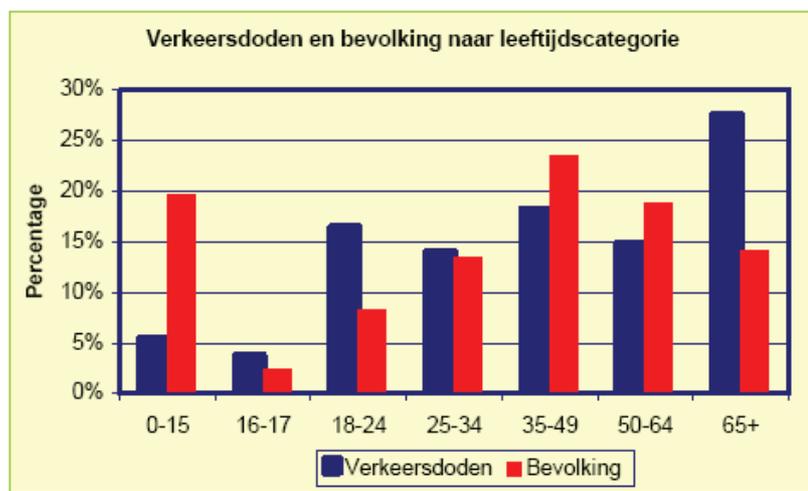
Als we kijken naar de verdeling over de vervoerwijzen, dan is duidelijk te zien dat met name de veiligheid van auto's sterk is toegenomen. Bij de ziekenhuisslachtoffers is duidelijk de kwetsbaarheid van fietsers te zien.



FIGUUR 3.14 AANTAL VERKEERSDODEN ONDERVERDEELD NAAR VERVOERWIJZE SLACHTOFFER (FACTSHEET VERKEERSSLACHTOFFERS IN NEDERLAND, SWOV, 2009)



FIGUUR 3.15 AANTAL ZIEKENHUISONGEVALLEN ONDERVERDEELD NAAR VERVOERWIJZE SLACHTOFFER (FACTSHEET VERKEERSSLACHTOFFERS IN NEDERLAND, SWOV, 2009)



FIGUUR 3.16 AANTAL VERKEERSDODEN ONDERVERDEELD NAAR LEEFTIJDSCATEGORIE (FACTSHEET VERKEERSSLACHTOFFERS IN NEDERLAND, SWOV, 2009)

Als we kijken naar de onderverdeling van verkeersdoden naar leeftijdscategorie dan zien we dat bij kinderen het aantal slachtoffers relatief laag is. Oorzaak is de lagere mobiliteit van kinderen. Bij ouderen daarentegen zien we een tegenovergesteld beeld. Hier speelt de grotere kwetsbaarheid van ouderen een belangrijke rol. Bij de categorie 18 tot 24 ten slotte is het aandeel slachtoffers hoog doordat in deze leeftijdscategorie veel personen beginnen met autorijden. Niet de leeftijd maar de rijervaring is hier van belang.

Om bij infrastructuurprojecten het effect op de verkeersveiligheid te berekenen wordt gebruik gemaakt van kengetallen. In deze tabel is een aantal verkeersmaten weergegeven. In de praktijk blijkt de maat aantal ongevallen per miljard voertuigkilometers per wegtype het beste te zijn.

	Aantal ernstige ongevallen	Aantal ernstige ongevallen per 1.000 kilometer weglengte	Aantal ernstige ongevallen per miljard motorvoertuigkilometers
Binnen de bebouwde kom			
30 km/uur	494	18	137
50 km/uur	4.891	162	199
70 km/uur	148	122	31
Buiten de bebouwde kom			
60 km/uur	320	28	238
80 km/uur	2.928	66	52
100/120 km/uur	912	178	22

TABEL 3.1: DE WAARDEN VAN DRIE VERKEERSONVEILIGHEIDSMATEN VOOR ZES WEGTYPEN IN NEDERLAND IN 2003 (FACTSHEET HET METEN VAN DE (ON) VEILIGHEID VAN WEGEN, SWOV, 2009)

### 3.5.3 Economische effecten

Voor infrastructuurprojecten wordt de Leidraad Economisch Effecten Infrastructuur (OEI) gebruikt. Hierin staat de Kosten-Baten Analyse (KBA) centraal. In een OEI komen de volgende 5 blokken aan bod:

- Bereikbaarheid: Dit blok geeft de directe effecten van het projectalternatief in de vorm van veranderingen in de totale transportkosten van alle verkeersdeelnemers.
- Veiligheid: Dit blok geeft de externe effecten van het projectalternatief op aspecten als externe veiligheid en verkeersveiligheid.
- Leefomgeving: Dit blok geeft de externe milieueffecten van het projectalternatief.
- Kosten: Dit blok geeft aan welke maatschappelijke kosten gemaakt moeten worden om het projectalternatief te realiseren (investering) en te beheren / in stand te houden (beheeren onderhoud).
- Uitkomst KBA: Dit blok geeft het saldo van de in geld uitgedrukte baten en kosten in termen van de netto contante waarde. Daarnaast wordt hier de baten-kostenverhouding vermeld; dit is de verhouding tussen de contante waarde van de baten en de contante waarde van de kosten. Tot slot bevat dit blok de interne rentevoet. De interne rentevoet geeft aan wat het maatschappelijk rendement is van investeren in het projectalternatief. Indien deze lager is dan de gebruikte discontovoet is het KBA saldo negatief. Is de interne rentevoet hoger dan de discontovoet dan is het KBA saldo positief.

Bij de bereikbaarheid gaat het om de reistijdwinsten die door het project worden gerealiseerd. Met behulp van de reistijdwaardering kunnen deze winsten worden omgerekend in opbrengsten in euro's. Waar mogelijk worden ook eerder besproken aspecten zoals verkeersveiligheid en leefmilieu meegenomen. De kosten van een project spreken voor zich.

In de Kosten-Baten Analyse worden de te kapitaliseren aspecten in kaart gebracht. Naast de directe baten van de reistijdwinsten, worden ook indirecte baten als gevolg van schaal- en efficiencyvoordelen in beschouwing genomen. In de praktijk blijkt dit vaak lastig definieerbaar te zijn. Enerzijds zijn het vaak aan de directe effecten gelieerde aspecten wat kan leiden tot allerlei dubbeltellingen. Anderzijds gaat het soms om effecten zoals bedrijfsvestigingen die op een klein schaalniveau misschien als toegevoegde waarde kunnen tellen, maar bij een hoger schaalniveau alleen een bedrijfsverplaatsing blijken te zijn. Veelal is het een beperkt bedrag in vergelijking met de directe baten.

Omdat de investeringen voor de baten uitgaan, worden alle inkomsten en uitgaven naar hetzelfde jaar gerekend met behulp van de Netto contante waardeberekening:

$$NCW = \sum_{t=0}^T \frac{(B_t - K_t)}{(1+i)^t}$$

met:

<i>NCW</i>	Netto contante waarde
<i>T</i>	Zichtperiode, voor infrastructuurprojecten wordt vaak 30 jaar genomen
<i>B<sub>t</sub></i>	Baten in jaar <i>t</i>
<i>K<sub>t</sub></i>	Kosten in jaar <i>t</i>
<i>i</i>	Discontovoet

De discontovoet verdisconteert de inflatie en het risico. Voor overheidsprojecten wordt vaak de waarde 5,5% gebruikt. Bij private projecten en bij zeer risicovolle projecten wordt een hogere discontovoet gehanteerd, bijvoorbeeld 10%. Door het gebruik van de discontovoet krijgen investeringen en inkomsten in de toekomst een lagere waardering. Omdat de investeringen incidenteel zijn en de baten jaarlijks terugkeren, kunnen bij een goed project de totale baten hoger zijn dan de investeringen, ook als met de discontovoet wordt gewerkt.

Een dergelijke KBA geeft een netto resultaat van de in geld uit te drukken effecten. In de besluitvorming zal dit resultaat moeten worden afgewogen tegen de resterende niet in geld te kwantificeren effecten.

**Voorbeeld OEI analyse (Naar Evaluatie van infrastructuurprojecten; Leidraad voor kosten-batenanalyse, NEI, 2000)**

**Samenvatting van een maatschappelijke kosten-batenanalyse voor een fictief project**

*Bedragen in netto contante waarden*

	<i>Financieel</i>	<i>Betreft</i>
<b>BATEN</b>		
<i>Directe effecten</i>		
- Exploitatie-inkomsten	€ 3 à 4 mld	
- Voordelen voor reizigers	€ 2,25 à 3 mld	75 à 100 mln uur reistijd
<i>Indirecte/strategische welvaartseffecten</i>		
Milieu: vermeden emissies	€ 0,25 à 0,5 mld	schaal- en efficiëntievoordelen
Totaal baten	€ 5,5 à 9,5 mld	2 à 4 Mton CO2
<b>KOSTEN</b>		
<i>Directe effecten</i>		
- Investering	€ 4 à 4,5 mld	
- Onderhoud	€ 1 mld	
- Exploitatie	€ 1 mld	
Totaal kosten	€ 6 à 6,5 mld	
Saldo (baten min kosten)	€ -1 à +3,5 mld	
Rendement	3,5 à 10%	
<b>PM POSTEN</b>		
<i>Verdelingseffecten (tussen regio's)</i>		
Landschap en hinder	+PM1 -PM2 500	10% kleiner inkomensverschil ha 1000 gehinderden

