

DEEL 1: RUIMTELIJKE PLANNING & VERVOERPLANNING SYSTEEM EN ELEMENTEN

In dit eerste deel zal ingegaan worden op de basisbeginselen van de ruimtelijke planning en de vervoerplanning. Basis is de samenhang tussen het ruimtelijke systeem en het transportsysteem zoals is beschreven in de cirkel van Wegener. Achtereenvolgens komen aan bod:

- De samenhang tussen ruimtelijk systeem en het verkeers- en vervoersysteem
- Verplaatsingspatronen
- Verplaatsingspatronen en keuzen
- Bereikbaarheid en ruimtelijke planning
- Modellering van ruimtelijke systemen
- Modellering van verkeers- en vervoerssystemen
- Netwerken

DEEL 1: RUIMTELIJKE PLANNING & VERVOERPLANNING SYSTEEM EN ELEMENTEN 1**1 SAMENHANG RUIMTELIJK SYSTEEM EN TRANSPORTSYSTEEM 4**

1.1	Inleiding	4
1.2	Cirkel van Wegener	4
1.3	Inleiding in transportsystemen	7
1.3.1	Begripsbepaling	7
1.3.2	Achtergrond van de verplaatsingsbehoefte	8
1.3.3	Verplaatsingspatronen	8
1.3.4	Reizigers en vracht	8
1.3.5	Vervoersdiensten	9
1.3.6	Vervoersmiddelen	9
1.3.7	Verkeersdiensten	9
1.3.8	Verkeersinfrastructuur	10
1.3.9	De vervoer- en verkeersmarkt	11
1.4	Samenhang ruimtelijk systeem en transportsysteem	12
1.4.1	Interactie tussen gebieden	12
1.4.2	Lagenmodel en ruimtelijk systeem	13

2 VERPLAATSINGSPATRONEN 15

2.1	Inleiding	15
2.2	Samenhang activiteiten en verplaatsingen	15
2.2.1	Personenverplaatsingen	15
2.2.2	Verplaatsingen van goederen	17
2.2.3	Geleding van verplaatsingen	19
2.3	Verplaatsingskenmerken personenvervoer	19
2.3.1	OVG en MON	19
2.3.2	Kengetallen personenvervoer	20
2.3.3	Onderscheid naar motieven en afstanden	21
2.3.4	Ruimtelijk spreidingspatroon	23
2.3.5	Tijdpatronen personenverplaatsingen	26
2.4	Verplaatsingskenmerken goederenvervoer	31
2.4.1	Kengetallen goederenvervoer	31
2.4.2	Onderscheid naar goederensoorten en afstanden	32
2.4.3	Ruimtelijk spreidingspatroon goederenverplaatsingen	32

3 VERPLAATSINGSGEDRAG EN KEUZEN 34

3.1	Lagen en markten	34
3.2	Keuzes maken	35

4 BEREIKBAARHEID EN LOCATIEKEUZE 38

4.1	Samenhang tussen bestemmingen: afstemming van functies	38
4.2	Bereikbaarheid en bereikbaarheidsmodellen	39
4.2.1	Bereikbaarheid	39
4.2.2	Verkeerskundige actuele bereikbaarheidsmodellen	40
4.3	Basisbeginselen van de planning van openbare voorzieningen	41
4.3.1	Indeling van openbare voorzieningen	41
4.3.2	Planningsproces voor locatiekeuze	42
4.3.3	De vraag naar openbare voorzieningen	43
4.4	Modellen voor de analyse van locaties voor openbare voorzieningen	44
4.4.1	Eenvoudige optimalisatie-modellen	44
4.4.2	Heuristisch model	44
4.4.3	Locatie-allocatie modellen	45
4.4.4	Distributie-planologische modellen	45

5	RUIMTELIJKE MODELLEN	46
5.1	Kenmerken	46
5.2	Hansen's Potential Model [Lee, 1973]	46
5.3	Het Lowry model [Lee, 1973]	49
6	VEKEERS- EN VERVOERMODELLEN	58
6.1	Theorievorming verplaatsingskeuzes	58
6.1.1	Micro-economische nutstheorie	58
6.2	Modelvorming vervoervraag en verkeersvraag	62
6.2.1	Vervoer- en verkeersmodellen personenvervoer	62
6.2.2	Onderdelen van het vervoer- en verkeersmodel	64
6.2.3	Gebruik van modellen	73
6.2.4	Vervoer- en verkeersgegevens en modellen	74
7	INFRASTRUCTURELE NETWERKEN	77
7.1	Inleiding	77
7.2	Verkeersnetwerken	78
7.2.1	Functionele indeling netwerken naar schaalniveau	78
7.2.2	Netwerkvormen	81
7.2.3	Ligging infrastructuur t.o.v. bebouwd gebied	85
7.2.4	Karakteristieken infrastructuurnetwerken Nederland	87

1 SAMENHANG RUIMTELIJK SYSTEEM EN TRANSPORTSYSTEEM

1.1 Inleiding

Dit hoofdstuk geeft een eerste globaal overzicht van de belangrijkste begrippen over het vervoer- en verkeerssysteem (ook wel aangeduid als transportsysteem) in combinatie met het ruimtelijke systeem. De interactie tussen het grondgebruik van een gebied en het transportsysteem zal worden verduidelijkt met de cirkel van Wegener. Tevens wordt duidelijk gemaakt hoe de verschillende begrippen onderling samenhangen en worden het vervoerssysteem en het verkeerssysteem nader gedefinieerd. Daarbij wordt de opbouw van het vervoer- en verkeerssysteem benaderd vanuit de zogenaamde lagentheorie. Dit betekent dat niet bij voorbaat wordt uitgegaan van het traditionele onderscheid tussen autoverkeer, openbaar vervoer en langzaam verkeer, noch van het onderscheid tussen personen- en goederenvervoer. Veel meer wordt de nadruk gelegd op het onderscheid tussen organisatorische en technische aspecten. Voorts krijgt het onderscheid tussen vraag- en aanbodaspecten alsmede de afstemming daartussen op de onderscheiden niveaus van het vervoer- en verkeerssysteem de nodige aandacht.

1.2 Cirkel van Wegener

In deze paragraaf zal gekeken worden naar de impact van het beleid over (stedelijk) grondgebruik op het gedrag van reizigers en omgekeerd, de impact van het transportbeleid op de locatiekeuze van huishoudens en bedrijven in (stedelijke) regio's.

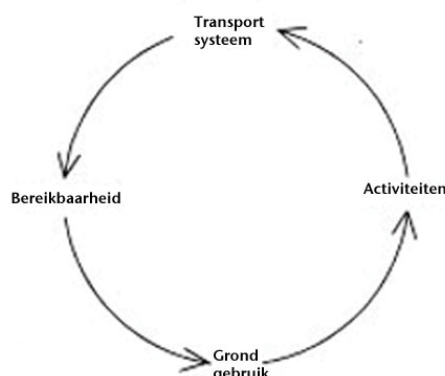
Impact stedelijk landgebruik op transport

Er bestaat een interactie tussen stedelijk grondgebruik en transport. De locatiekeuze en de migratie van huishoudens en bedrijven veranderen het stedelijk grondgebruik en de transportsystemen op stedelijk regionaal niveau. De scheiding van menselijke activiteiten creëert de noodzaak tot reizen. De suburbanisatie van de steden is daarom een oorzaak van de verhoging van mobiliteit.

Impact transport op de ruimtelijke ontwikkeling

Ook bestaat er een relatie tussen transport en de ruimtelijke ontwikkeling van steden. Locaties met een goede bereikbaarheid hebben namelijk een grotere kans om ontwikkeld te worden en met een hogere dichtheid dan locaties die in een meer afgelegen gebied liggen.

Deze relaties zijn terug te vinden in de cirkel van Wegener (1995, 2004).



FIGUUR 1.1 CIRKEL VAN WEGENER

Zoals te zien is in de cirkel hebben het grondgebruik en het transportsysteem invloed op elkaar. Deze invloed oefenen ze niet direct op elkaar uit, maar door middel van tussenliggende factoren zoals de activiteiten en de bereikbaarheid.

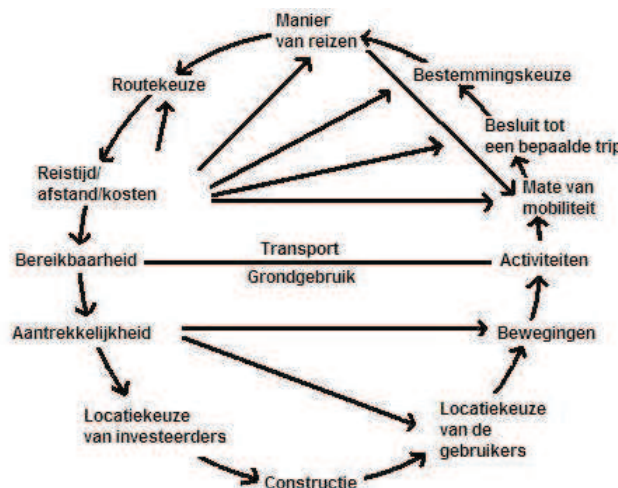
De verdeling van het grondgebruik, wonen, werken of voorzieningen over het stedelijk gebied bepaalt de locatie van menselijke activiteiten zoals wonen, werken, winkelen, onderwijs e.d. Met

deze verdeling wordt de plek bepaald van bijvoorbeeld woningen, bedrijven en winkels. Door deze beslissing zijn de locaties van de menselijke activiteiten bepaald. Er is bepaald waar men kan wonen, waar men kan werken, waar men kan winkelen enz.

Deze verdeling van menselijke activiteiten heeft dan weer invloed op het transportsysteem. De afstanden tussen de locaties van activiteiten moeten namelijk overbrugd worden. Binnen het transportsysteem zijn de activiteiten zoals wonen, werken, winkelen e.d. verdeeld. Met het transportsysteem kunnen de mensen van activiteit naar activiteit. Hierdoor kunnen de activiteiten verder van elkaar vandaan liggen. Bijvoorbeeld winkelen in Rotterdam en wonen in Den Haag is mogelijk geworden door het transportsysteem. Onder invloed van het transportsysteem kunnen mensen dus wonen, werken en winkelen waar ze maar willen.

De verdeling van de infrastructuur in het transport systeem creëert mogelijkheden voor ruimtelijke wisselwerking, en hierdoor wordt ook bereikbaarheid gecreëerd. Doordat de infrastructuur verdeeld is, is een stad aan meerdere zijden bereikbaar. Met verschillende (snel)wegen wordt een grote bereikbaarheid gecreëerd. Als er maar één weg naar een stad toe zou lopen, zou de bereikbaarheid van die stad klein zijn. Zo heeft het transportsysteem invloed op de bereikbaarheid.

Deze verdeling van bereikbaarheid resulteert dan in verandering van het grondgebruik. Een bepaalde locatie waar gebouwd is, wordt bereikbaar gemaakt door middel van de aanleg van de infrastructuur. Door de aanleg van deze wegen verandert het grondgebruik.



FIGUUR 1.2 CIRKEL VAN WEGENER

Elementen uit de cirkel van Wegener

Mate van mobiliteit: hoe meer verschillende vervoerdiensten een gebruiker tot zijn beschikking heeft, zoals openbaar vervoer, de auto of de fiets, hoe hoger zijn mobiliteit. En hoe hoger de mobiliteit, hoe meer activiteiten er ondernomen kunnen worden.

Besluit tot een bepaalde trip: bijvoorbeeld boodschappen doen, winkelen, wat gaan drinken. Een mobiel persoon zal eerder besluiten om een activiteit te ondernemen dan iemand die bijvoorbeeld afhankelijk is van hulp van anderen.

Bestemmingskeuze: afweging maken tussen de voor- en nadelen van een bestemming en uiteindelijk via een compromis een keuze maken. Zo kan er voor gekozen worden om wat verder te reizen om een groter aanbod te verkrijgen.

Manier van reizen: afhankelijk van de afstand tot de bestemming zal de snelste en goedkoopste manier gezocht worden.

Routekeuze: de routekeuze wordt bepaald door de gekozen manier van reizen. Als van het openbaar vervoer gebruik gemaakt wordt, ligt de route nagenoeg vast, omdat deze diensten bijna altijd een vaste route rijden. Met eigen vervoer is de routekeuze vrijer, meestal wordt dan de route met de minste reistijd gekozen.

Reistijd/afstand/kosten: om een bestemming te bereiken zal men een afstand moeten overbruggen, wat tijd en geld kost. De bestemming die het minste tijd en geld kost zal meestal de voorkeur hebben.

Bereikbaarheid: hoe gemakkelijker een locatie te bereiken is des te hoger de bereikbaarheid.

Aantrekkelijkheid: de aantrekkelijkheid van een locatie heeft per functie weer andere kenmerken, een goede bereikbaarheid is daar één van.

Locatiekeuze van investeerders: investeerders zullen bij het kiezen van een locatie er op letten dat zij hun investering ook weer terug kunnen verdienen. Door een aantrekkelijke locatie te gaan ontwikkelen is dit mogelijk.

Constructie: als een investeerder een locatie vindt die voldoet aan zijn wensen, zal hij daar een constructie neerzetten en deze exploiteren of verkopen.

Locatiekeuze van de gebruikers: een gebruiker zal altijd op zoek gaan naar een locatie die voor hem zo aantrekkelijk mogelijk is.

Bewegingen: omdat de aantrekkelijkste locatie zich niet altijd op de plek bevindt waar de gebruiker is, zal men zich gaan verplaatsen naar aantrekkelijkere locaties, door bijvoorbeeld te verhuizen.

Activiteiten: door de scheiding van activiteiten ontstaat de noodzaak om te reizen.

In Figuur 1.2 is in de cirkel te zien dat het grondgebruik en het transport systeem in verschillende factoren opgedeeld zijn. Opvallend hierbij is dat de reistijden/ afstanden/ kosten invloed hebben op meerdere factoren, namelijk de route keuze, de manier- en gebruikkeuze, de bestemmingskeuze, het besluit tot een bepaalde trip en het autobezit.

Dit is als volgt te verklaren: De reistijd is van invloed op de routekeuze, aan de hand van de reistijd zal er namelijk een route gekozen worden. Waarschijnlijk zal de route gekozen worden met de kortste reistijd. Indirect heeft de reisafstand dan ook invloed op de routekeuze. Hoe korter de afstand, hoe korter de reistijd.

Ook heeft de tijd invloed op de keuze met welk soort vervoer er gereisd wordt; het vervoermiddel met de kortste reistijd zal gewild zijn. Als er met de auto korter over gedaan wordt dan met de trein, zal de auto winnen. De reiskosten zijn ook van invloed op de vervoerskeuze; naar het relatief goedkoopste vervoermiddel zal de eerste keuze uitgaan.

Op de factoren bestemmingskeuze en reiskeuze zijn de tijd, afstand en kosten ook van invloed. Bij de keuze naar een bepaalde bestemming zal vooral naar de afstand tot die bestemming gekeken worden. Deze afstand zal dan voor een groot deel de reistijd en de reiskosten bepalen. De hoeveelheid tijd en geld die beschikbaar is om een trip te maken, is van invloed op de reiskeuze. Is er veel tijd dan kunnen er meer activiteiten bezocht worden.

Als laatste hebben de reistijd, afstand en kosten invloed op het autobezit. Als de tijd, afstand en kosten lager zijn bij gebruik van het openbaar vervoer, zal de auto minder vaak gebruikt worden.

De subfactor van grondgebruik, de aantrekkelijkheid van een locatie heeft naast invloed op de locatiekeuze van investeerders ook invloed op de bewegingen en op de locatiekeuze van gebruikers. Hoe aantrekkelijker de stad is, hoe meer mensen er willen wonen of werken en komen bezoeken. Hierdoor neemt het aantal bewegingen naar en in de stad toe. Ook zullen de gebruikers van de locatie eerder voor een aantrekkelijke locatie kiezen.

Theorie grondgebruik ↔ transport

De theorie om de interactie van grondgebruik en transport in stedelijke gebieden te verklaren, omvat technische theorieën (stedelijke bewegingssystemen), economische theorieën (steden als markten) en sociale theorieën (maatschappelijke en stedelijke ruimte). Hieronder zijn enkele resultaten beschreven van deze theorieën over de verwachte invloed van grondgebruik op transport. Hierbij is gekeken naar de verwachte impact van essentiële factoren zoals stedelijke dichtheid, werkgelegenheidsdichtheid, aantrekkelijkheid van de buurt, locatie, stadsgrootte op de reiskosten, reistijd en bestemmingskeuze. Ook is er gekeken naar de verwachte invloed van transport op het grondgebruik. Hierbij is gekeken naar de factor toegankelijkheid en de invloed op de locatie van woonwijken, industrieterreinen, kantorenlocaties en locaties voor kleinhandel.

Theoretisch verwachte invloed van landgebruik op transport

Een hoge dichtheid van bedrijven en woonwijken heeft een positieve invloed op de gemiddelde reisafstand. Deze zal verminderen, doordat bedrijven en woningen dichtbij elkaar liggen. Hierdoor zullen er waarschijnlijk ook meer uitstapjes gemaakt worden.

Binnen de woonwijken kunnen aantrekkelijke voorzieningen gezien worden als een pull factor om de reisafstand te verminderen. Mensen hoeven niet meer naar het centrum van de stad voor voorzieningen maar kunnen gewoon in hun eigen woonwijk terecht.

Doordat de steden steeds groter worden, hebben de locaties die aan de rand van de stad liggen langere reizen vanuit het centrum tot gevolg. Hierdoor wordt verwacht dat reisafstand een negatieve verhouding heeft met de stadsgrootte.

Zowel dichtheid van woonwijken en bedrijventerreinen als grote agglomeraties met een goede toegankelijkheid met het openbaar vervoer hebben een gunstige invloed op het transport met het openbaar vervoer. Terwijl de aantrekkelijkheid van de buurt, verscheidenheid aan woningen en bedrijven met kleinere reisafstanden een gunstige invloed hebben op het gebruik van de fiets en op lopen.

Theoretisch verwachte invloed van transport op landgebruik

Doordat een locatie een goede toegankelijkheid heeft (dus goed bereikbaar is), wordt die locatie aantrekkelijk gevonden. Dit zal de richting van nieuwe stedelijke ontwikkelingen beïnvloeden. Als de toegankelijkheid van een stad verbeterd zal worden, zal dit resulteren in een meer verspreide structuur van blijvende bewoners en/of bedrijven.

Locaties die goed toegankelijk zijn om te werken, te winkelen en voor school en vrije tijdsvoorzieningen zullen aantrekkelijker zijn voor wonen, zullen een hogere grondprijs hebben en zullen zich sneller ontwikkelen.

Locaties die goed toegankelijk zijn door de ligging aan auto(snel)wegen en treinstations zullen aantrekkelijk zijn voor industrieterreinen en zullen zich sneller ontwikkelen dan locaties die minder goed toegankelijk zijn.

Locaties die goed toegankelijk zijn door de ligging aan vliegvelden, hogesnelheidslijnen en auto(snel)wegen zullen aantrekkelijk zijn voor kantorenlocaties en zullen een hoge grondprijs hebben.

Locaties die goed toegankelijk zijn voor de klanten en andere kleinere bedrijven zullen aantrekkelijk zijn voor de kleinhandel, zullen een hoge grondprijs hebben en zullen zich sneller ontwikkelen.

1.3 Inleiding in transportsystemen

1.3.1 Begripsbepaling

Veel wat we willen doen, kan niet op de plaats waar we zijn. Evenzo geldt dat veel van wat we willen hebben, zich niet bevindt op de plaats waar we zijn. Deze simpele constatering ligt ten grondslag aan de behoefte van het verplaatsen van personen en goederen. In dit verband is het gebruikelijk alle menselijk handelen aan te duiden met de term activiteiten. De verzameling van opeenvolgende activiteiten van een individu per tijdperiode noemen we een activiteitenpatroon. Omdat verschillende activiteiten vaak niet alleen in tijd gescheiden zijn, maar ook in ruimte, liggen aan de verplaatsingenpatronen van personen en goederen altijd activiteitenpatronen ten grondslag. Het verplaatsen van personen en goederen wordt aangeduid met de term vervoer. Een belangrijk deel van dit vervoer vindt plaats met behulp van een of ander vervoermiddel, zoals een schip, een auto of een fiets. Het verplaatsen van deze vervoermiddelen over de beschikbare verkeersinfrastructuur wordt aangeduid met de term verkeer. Dit betekent dat het vervoer- en verkeerssysteem opgebouwd kan worden uit drie lagen (Schoemaker, 2002). De eerste laag wordt gevormd door de verplaatsingenpatronen van personen en goederen, welke aangeduid worden als reizigers en vracht. Ten behoeve van het verplaatsen van personen en goederen zijn vervoerdiensten nodig, waarvoor vervoermiddelen ingezet moeten worden. Dit vormt de tweede laag. Teneinde het verplaatsen van de vervoermiddelen mogelijk te maken, zijn verkeersdiensten nodig: het beschikbaar stellen van verkeersinfrastructuur en het regelen van het gebruik daarvan. Dit vormt de derde laag.

De gedachte achter deze benadering van het vervoer- en verkeerssysteem is dat elke hogere laag diensten van de lagere laag nodig heeft, waarbij steeds gezocht moet worden naar een evenwicht tussen gestelde eisen en geboden kwaliteit. In dit verband kunnen de verplaatsingenpatronen van personen en goederen beschouwd worden als de vervoervraag en het aanbod van vervoerdiensten als het vervoeraanbod. De afstemming tussen vervoervraag en vervoeraanbod vindt plaats op de vervoermarkt. Evenzo kunnen de vervoerdiensten als verkeersvraag beschouwd worden en de verkeersdiensten als verkeersaanbod. De afstemming tussen beide vindt plaats op de verkeersmarkt.

De term transport wordt in dit dictaat enkel gebruikt als zowel verkeer als vervoer bedoeld worden, hoewel in de literatuur transport, analoog aan het onderscheid tussen transport en traffic in de Angelsaksische wereld, ook wel wordt gebruikt als synoniem voor vervoer.

1.3.2 Achtergrond van de verplaatsingsbehoefte

De maatschappij is te beschouwen als een verzameling individuen en (bedrijf)huishoudens die een reeks van activiteiten verrichten. Deze activiteiten kunnen zowel productief als consumptief zijn. Veel van die activiteiten, zoals werken en winkelen, vinden plaats in ruimtelijke eenheden, zoals woningen, winkels, kantoren en musea. Veelal is er sprake van concentratie van activiteitsruimten in nederzettingen. Teneinde de achtergrond te kennen van de verplaatsingsbehoefte is daarom inzicht nodig in de ontwikkeling van de ruimtelijke configuratie van nederzettingen. Uiteraard is niet iedere locatie en ieder tijdstip even geschikt voor iedere soort activiteit. Zo hangt de geschiktheid van een locatie voor de productie van auto's af van de aanwezigheid van toeleveringsbedrijven en gekwalificeerd personeel. Voor boodschappen doen is men bijvoorbeeld afhankelijk van de beschikbaarheid en openingstijden van winkels. De uiteindelijke ruimtelijke configuratie van de activiteitsruimten kan aangeduid worden als ruimtelijke infrastructuur.

Het totaal aan soorten activiteiten binnen een gebied en de spreiding daarvan naar ruimte en tijd vormt samen met de ruimtelijke infrastructuur het activiteitensysteem. In een gegeven gebied is de wederzijdse beïnvloeding tussen het activiteitensysteem en het transportsysteem van wezenlijk belang. Bij deze wederzijdse beïnvloeding kan onderscheid gemaakt worden tussen korte- en lange- termijn effecten. In het algemeen geldt dat activiteitenpatronen en verplaatsingenpatronen elkaar op korte termijn beïnvloeden. De onderlinge beïnvloeding van de ruimtelijke infrastructuur en de naar plaats en tijd beschikbare verkeersnetwerken zal daarentegen veel meer een lange termijn karakter hebben.

1.3.3 Verplaatsingenpatronen

Zoals in het voorgaande gesteld, is de noodzaak personen en goederen te verplaatsen het gevolg van de ruimtelijke spreiding van activiteiten. Een en ander wil zeggen dat er een nauwe verwevenheid is tussen activiteitenpatronen en verplaatsingenpatronen van personen en goederen. De in een bepaald gebied en voor een bepaalde periode geaggregeerde verplaatsingenpatronen kunnen worden beschouwd als de basis van de vervoervraag in dat betreffende gebied en die betreffende periode. Teneinde voldoende inzicht te krijgen in de vervoervraag is het veelal nodig de totale verplaatsingenpatronen onder te verdelen naar deelverplaatsingenpatronen. Relevante factoren zijn hierbij verplaatsingsafstanden, het ruimtelijke spreidingspatroon, tijdpatronen, motieven en soorten goederen. Bij het ontwerpen van een vervoeraanbod zal uiteraard tevens rekening gehouden moeten worden met de specifieke kenmerken van de te verplaatsen personen of goederen.

1.3.4 Reizigers en vracht

Zowel bij verplaatsingen van personen als van goederen moet rekening gehouden worden met de hoedanigheid van het te verplaatsen 'object'. Het gaat hierbij enerzijds om economische kenmerken, anderzijds om fysieke kenmerken. Deze kenmerken stellen eisen aan het te bieden vervoer.

Wat betreft de economische kenmerken zal bij modegevoelige of bederfelijke goederen de tijd die het vervoer vergt belangrijker zijn dan de vervoerkosten, terwijl voor een laagwaardig goed als zand het omgekeerde geldt. Hetzelfde onderscheid is bij personenvervoer te maken, bijvoorbeeld de manager met eeuwig tijdgebrek, versus een vakantiehoudende student met een 'overvloed' aan tijd. De fysieke eigenschappen waar rekening mee gehouden moet worden, betreffen in de eerste plaats gewicht, ruimtebeslag en volume. Zo passen in een bus niet meer dan ca. vier reizigers per m² vloeroppervlak en kan een lading van 2,50 m breed niet in een bestelwagen vervoerd worden. Andere fysieke eigenschappen waar rekening mee gehouden moet worden, zijn bijvoorbeeld het slecht ter been zijn van bepaalde reizigers en de agressiviteit op de omgeving van bepaalde goederen. Bij goederen bepalen de fysieke eigenschappen tevens of ze als bulk, als stukgoed of in grote laadeenheden vervoerd worden.

1.3.5 Vervoersdiensten

Om personen of goederen van de ene plek naar de andere te brengen, zijn vervoerdiensten nodig. Personen (of bij goederenvervoer: de verladers) kunnen ervoor kiezen om zichzelf een vervoerdienst aan te bieden; dit noemen we particulier vervoer (bv. lopen, eigen auto, eigen fiets, eigen vrachtwagen). Men kan de vervoerdienst ook door derden laten verrichten: beroepsvervoer. In dit laatste geval is het mogelijk om verschillende personen of goederen die niets met elkaar te maken hebben in hetzelfde voertuig te vervoeren. We noemen dit collectief vervoer. Collectief vervoer maakt vaak een efficiëntere vervoermiddelinzet mogelijk. Niet alle beroepsvervoer is echter collectief: de taxi of de koeriersdienst biedt individuele vervoerdiensten. Bij collectief vervoer kan tot slot nog onderscheid gemaakt worden tussen openbaar vervoer (voor iedereen toegankelijk) en besloten vervoer (voorbehouden aan een bepaalde vooraf gedefinieerde groep, ook groepsvervoer genoemd).

Het patroon in ruimte en tijd van de vervoermiddelen vertoont uiteraard een relatie met het verplaatsingenpatroon. Dit patroon ontstaat bij particulier vervoer 'spontaan': iedere verplaatsing van A naar B leidt eenvoudigweg tot een vervoerdienst van A naar B. Bij vervoerdiensten door derden hoeft echter geen één-op-één-relatie met het verplaatsingenpatroon te bestaan, doordat personen of goederen die verschillende verplaatsingen maken geheel of gedeeltelijk gebruik kunnen maken van dezelfde vervoerdienst. Er is dan echter een bepaalde mate van organisatie vooraf nodig; we noemen dit netwerken van vervoerdiensten of kortweg dienstennetwerken. Dienstennetwerken kunnen geheel van tevoren zijn vastgelegd (geregeld vervoer, bijvoorbeeld het stadsbusnet), het kan echter ook geheel of gedeeltelijk afhankelijk worden gesteld van de actuele vervoervraag (vraagafhankelijk vervoer, bijvoorbeeld de belbus). Dienstennetwerken hebben zowel een ruimte- als een tijdsdimensie. De ruimtedimensie heeft betrekking op de ligging van de toegangspunten (haltes/stations, laad- en losplaatsen), en de verbindingen tussen deze toegangspunten (schakels, lijnen). De tijdsdimensie heeft betrekking op de tijdstippen waarop de toegangspunten worden aangedaan (frequentie, dienstregeling). Er kunnen vele vormen van dienstennetwerken worden onderscheiden. Het meest wezenlijke is het onderscheid tussen netwerken die primair gericht zijn op collectie en distributie (ontsluitende netwerken) en netwerken waarbij de nadruk ligt op bundeling of consolidatie (verbindende netwerken).

Het totaal van vervoerdiensten in een bepaald gebied en een bepaalde tijdsperiode kan in eerste instantie beschouwd worden als het vervoeraanbod. Een volledig beeld van het vervoeraanbod wordt echter pas verkregen als tevens de karakteristieke vervoerkundige kenmerken van de ingezette vervoermiddelen bekend zijn.

1.3.6 Vervoersmiddelen

Voor het verrichten van vervoerdiensten moeten in het algemeen vervoermiddelen worden ingezet. Personen hebben het wat dat betreft iets makkelijker dan goederen: personen zijn vaak in staat een stukje te lopen, waardoor het vervoermiddel niet persé tot bij de voordeur hoeft te komen.

Er zijn zeer veel soorten vervoermiddelen; elk type is meer of minder geschikt voor een bepaalde toepassing in termen van soorten verplaatsingen en vervoerdiensten. De verschillende typen vervoermiddelen kunnen worden onderscheiden aan de hand van kenmerken als: continue vervoermiddelen (bv. lopende band) versus niet-continue vervoermiddelen (bv. auto), geleide voertuigen (bv. trein) versus niet-geleide voertuigen (bv. auto), ongemotoriseerd (bv. fiets) versus gemotoriseerd (bv. auto), handgestuurd versus automatisch, open versus gesloten, koppelbaar versus niet-koppelbaar. Verder zijn er meetbare kenmerken als de afmetingen, het gewicht, de rijkenmerken (maximumsnelheid, acceleratievermogen), het aantal zit- en staanplaatsen, de laadruimte. De bovenstaande lijst is uiteraard verre van volledig. Merk op, dat een taxi en een eigen auto niet worden beschouwd als twee verschillende soorten vervoermiddelen; het zijn beide personenauto's, echter in een verschillende toepassing.

1.3.7 Verkeersdiensten

Het patroon in ruimte en tijd van de vervoermiddelen (de vervoerdiensten) kan beschouwd worden in samenhang met de vervoervraag. Beschouwen we de collectiviteit van vervoermiddelen echter op zichzelf, zonder een relatie te leggen met het verplaatsingenpatroon van personen en goederen, dan spreken we van verkeer. Verkeer vindt plaats op een speciaal daartoe ingericht deel van de

openbare ruimte: de verkeersnetwerken. Het verkeer en de verkeersnetwerken kunnen in dezelfde hand zijn; dit was tot voor kort het geval bij de spoorwegen. Veel vaker echter fungeert de overheid als beheerder van verkeersnetwerken. De verkeersnetwerken kunnen opgesplitst worden in een statische en een dynamische component.

De statische component van de verkeersnetwerken wordt gevormd door de netwerken van fysieke verkeersinfrastructuur, kortweg infrastructuurnetwerken. De belangrijkste bestaande typen infrastructuurnetwerken zijn het wegennet, het railnet en het binnenvaartnet. In relatie met door bepaalde soorten verkeer gestelde eisen, kunnen er vele netwerkvormen onderscheiden worden: zo ziet een netwerk voor langeafstandsverkeer er in het algemeen heel anders uit (grofmaziger, grotere boogstralen) dan een netwerk voor wijkontsluiting. Beseft moet worden dat er geen één-op-één relatie bestaat tussen dienstennetwerken en infrastructuurnetwerken. Enerzijds is het denkbaar dat een bepaald type vervoerdiensten gebruik maakt van verschillende infrastructuurnetwerken. Zo maakt het netwerk van Interliner-diensten (interregionale snelbussen) gebruik van het autosnelwegennet, het netwerk van 80 km-wegen en het stedelijke wegennet. Anderzijds wordt een infrastructuurnetwerk veelal gebruikt door verschillende typen vervoerdiensten: een netwerk van een stadsdistributiesysteem voor goederen en een netwerk van lokale busdiensten maken beide gebruik van hetzelfde netwerk van stedelijke wegen.

De dynamische component betreft de regeling van het gebruik van de verkeersnetwerken. Verkeersdiensten zorgen ervoor, dat de verkeersinfrastructuur wordt toegewezen aan een bepaald deel van het verkeer. Verkeersdiensten kunnen vooraf zijn vastgelegd (verkeerslichten en wisselstroken met een vaste cyclus, doelgroepstroken, dienstregelingpaden voor treinen) of afhankelijk worden gesteld van de verkeersvraag (verkeersafhankelijke verkeerslichtenregelingen, toeritdoseringen, dynamische blokbeveiligingssystemen).

De ruimtelijke configuratie van de verkeersnetwerken in een bepaald gebied en de beschikbaarheid daarvan in de tijd kan beschouwd worden als het verkeersaanbod. Tot het verkeersaanbod behoort echter ook de wijze waarop de verschillende elementen, waaruit het netwerk is opgebouwd, zijn afgestemd op de verkeerskundige karakteristieken van de relevante voertuigen.

1.3.8 Verkeersinfrastructuur

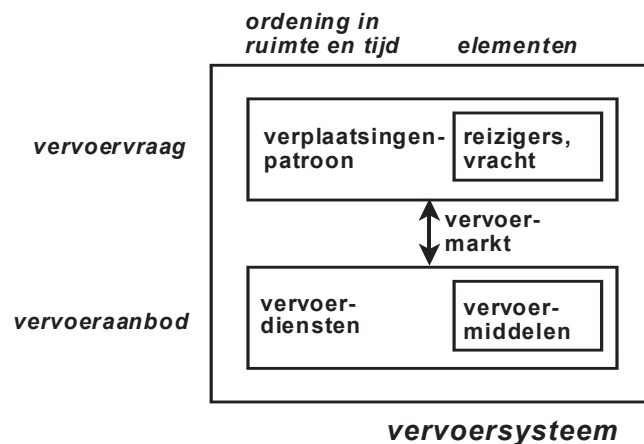
De in paragraaf 1.3.6 onderscheiden voertuigkenmerken maken het nodig verschillende typen verkeersinfrastructuur te onderscheiden. Op dit moment zijn de hoofdtypen landgebonden infrastructuur: wegen, spoorwegen en binnenvaartwegen. Binnen deze hoofdtypen kunnen weer vele onderverdelingen gemaakt worden. In de toekomst kunnen bovendien, gekoppeld aan nieuwe voertuigtypen, nog andere soorten infrastructuur (verder) tot ontwikkeling komen, zoals de geplande magneetweefbaan tussen Hamburg en Berlijn.

In het algemeen kan bij infrastructuurelementen onderscheid gemaakt worden tussen toegangspunten, schakels, knooppunten, en stallingruimte. Bij knooppunten kan onderscheid gemaakt worden naar het aantal samenkomende richtingen, de mogelijke verbindingen tussen deze richtingen en de mate waarin verschillende richtingen ongelijkvloers worden afgewikkeld. Bij schakels zijn kenmerken als breedte (aantal stroken, sporen) en hoogteligging (maaiveld, viaduct, tunnel) van belang. Bij het luchtverkeerssysteem kunnen de luchthavens beschouwd worden als toegangspunten; de schakels worden gevormd door luchtcorridors. Stallingruimte kan de vorm aannemen van een toegangspunt (parkeergarages) of van een schakel (parkeren langs de weg).

De verdere detaillering van onderdelen van de verkeersinfrastructuur hangt af van de ontwerpnelheid en van bepaalde kenmerken van afzonderlijke voertuigen. Zo is voor het dwarsprofiel van een weg de breedte van de voertuigen belangrijk, voor het lengteprofiel de helling die een voertuig kan overwinnen en voor het tracé de acceptabele boogstralen. Veelal gaat het hierbij om de maximaal toegestane breedtes, aslasten, e.d. Soms kan echter uitgegaan worden van een zgn. maatgevend voertuig. Zo worden parkeervakken veelal gedimensioneerd op de lengte en breedte waar 85 % van de personenauto's onder blijven.

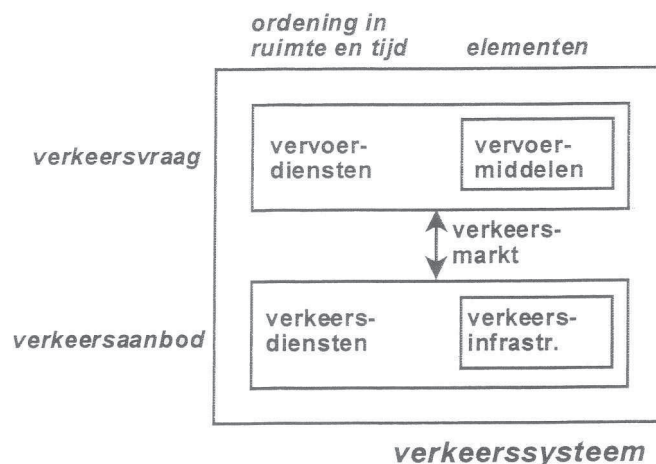
1.3.9 De vervoer- en verkeersmarkt

Het transportsysteem kan worden beschouwd als de som van twee deelsystemen, namelijk het vervoer- en het verkeerssysteem. Het vervoersysteem omvat de elementen verplaatsingspatronen, reizigers en vracht, vervoerdiensten, vervoermiddelen. De vraagkant wordt gevormd door het verplaatsingspatroon, de aanbodkant door de vervoerdiensten. Het verplaatsingspatroon is te beschouwen als de ordening in ruimte en tijd van de 'vervoervraagelementen': de reizigers en de vracht. De vervoerdiensten zijn op analoge wijze te beschouwen als de ordening in ruimte en tijd van de 'vervoeraanbodelementen', namelijk de vervoermiddelen. Waar sprake is van vraag en aanbod, kan ook een 'markt' worden gedefinieerd. Zo ook in dit geval: de vervoermarkt beschrijft de wisselwerking tussen het verplaatsingspatroon (de vervoervraag) en de aangeboden vervoerdiensten. Een en ander staat samengevat in Figuur 1.3.



FIGUUR 1.3 HET VERVOERSYSTEEM

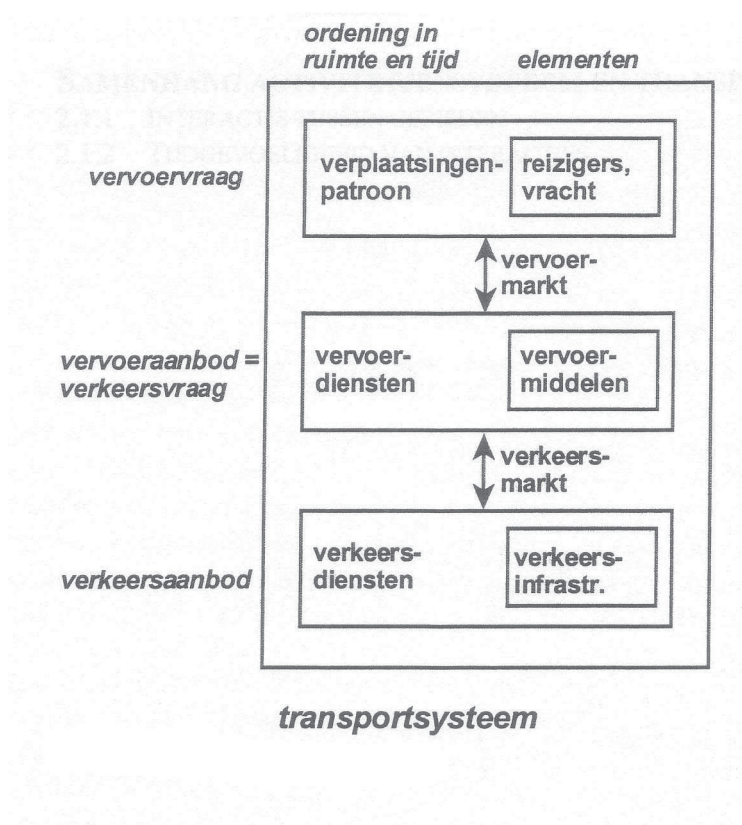
De vier elementen vervoerdiensten, vervoermiddelen, verkeersdiensten en verkeersinfrastructuur vormen samen het verkeerssysteem. Evenals het vervoersysteem, heeft ook het verkeerssysteem een vraagkant en een aanbodkant. De vraagkant wordt gevormd door de vervoerdiensten, de aanbodkant door de verkeersdiensten. De vraagkant van het verkeerssysteem is dus identiek aan de aanbodkant van het vervoersysteem. Worden de vervoerdiensten niet in samenhang beschouwd met het verplaatsingspatroon van personen en goederen, dan spreken we eenvoudigweg van 'verkeer'. Verkeer is te beschouwen als een ordening in ruimte en tijd van de 'verkeersvraagelementen', namelijk de vervoermiddelen. Op analoge wijze zijn de verkeersdiensten te beschouwen als een ordening in ruimte en tijd van elementen waaruit de verkeersinfrastructuur is opgebouwd. De verkeersmarkt beschrijft de wisselwerking tussen de verkeersvraag en het verkeersaanbod (verkeersdiensten). Een en ander staat samengevat in Figuur 1.4.



FIGUUR 1.4: HET VERKEERSSYSTEEM

Resumerend kan het totale vervoer- en verkeerssysteem worden beschouwd als een systeem met de drie in paragraaf 1.3.1 genoemde lagen en daartussen de vervoermarkt en de verkeersmarkt. Zie Figuur 1.5. De vervoermarkt is de interactie tussen de vervoervraag en het vervoeraanbod. De verkeersmarkt is de interactie tussen de verkeersvraag en het verkeersaanbod. Dit afstemmingsproces kan plaatsvinden op basis van marktwerking, maar kan ook planmatig gebeuren. Bovendien zijn vele tussenoplossingen mogelijk. Het begrip 'markt' zal dus in een brede context gezien moeten worden.

Hoe 'marktwerking' plaatsvindt onder geïdealiseerde omstandigheden wordt beschreven door de micro-economische nutstheorie. Uitgangspunt van deze theorie is dat iedere speler op een 'markt' rationeel handelt, dat wil zeggen probeert zijn nut te maximaliseren. Meestal zal een potentiële consument van een vervoersdienst nut ontleen aan activiteiten, terwijl reistijd en reiskosten een disnut (negatief nut) opleveren. Een aanbieder van een vervoersdienst zal voornamelijk nut ontleen aan de winst van de onderneming.



FIGUUR 1.5: HET TRANSPORTSYSTEEM (SCHOEMAKER, 2002)

1.4 Samenhang ruimtelijk systeem en transportsysteem

1.4.1 Interactie tussen gebieden

Het transportsysteem is van invloed op het ruimtelijk systeem. In de vorige paragrafen werd reeds het voorbeeld genoemd van de bedrijvigheid die zich concentreert rondom een overslagpunt, bijvoorbeeld een haven. Hollandse steden als Dordrecht, Rotterdam en Amsterdam hebben waarschijnlijk hun bestaan voor een belangrijk deel te danken aan de economische voordelen van vestiging nabij een overslagpunt, gecombineerd met overige agglomeratievoordelen. Ook de stations- en snelweglocaties die de afgelopen decennia ontwikkeld zijn, danken hun populariteit voor een belangrijk deel aan hun goede bereikbaarheid. Lokale verbeteringen van het transportsysteem creëren dus deels hun eigen vervoersvraag, doordat het ruimtelijk systeem zich

aan deze verandering aanpast. Naast de invloed van het transport systeem op de ontwikkeling van een bepaalde nederzetting kan ook gekeken worden naar de invloed van het transport systeem op de interactie tussen verschillende steden. Ullman (1956) noemt een drietal voorwaarden voor interactie tussen twee plaatsen. De eerste voorwaarde is complementariteit. Met andere woorden, er moet een vraag-aanbodrelatie bestaan tussen beide plaatsen. Tweede voorwaarde is het ontbreken van gunstige substitutiemogelijkheden, zoals een dichtbij gelegen gelijkwaardig alternatief. De derde voorwaarde die Ullman noemt is transferabiliteit, oftewel de verplaatsingsmogelijkheden. Indien een verplaatsing te duur is en/of teveel tijd kost, is de kans groot dat ervan wordt afgezien.

1.4.2 Lagenmodel en ruimtelijk systeem

Binnen het activiteitensysteem en binnen het transportsysteem kunnen vergelijkbare lagen en markten onderscheiden worden. In het geval van het activiteitensysteem kan onderscheid gemaakt worden tussen:

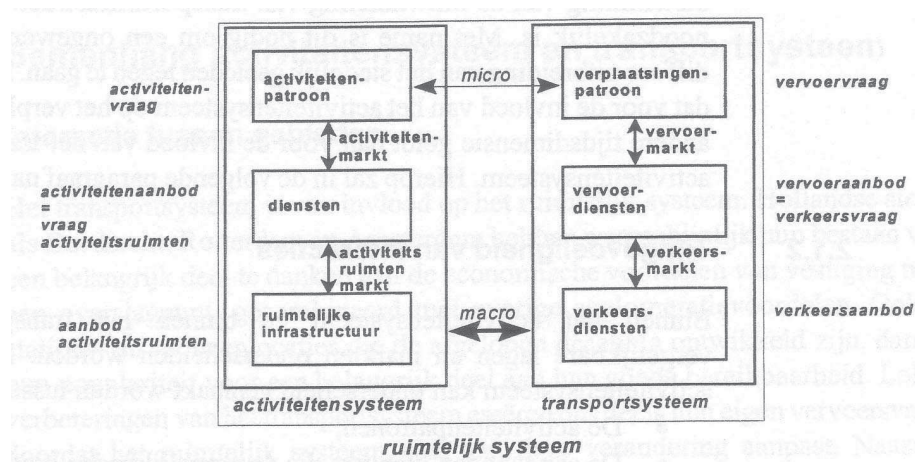
- De activiteitenpatronen;
- De aangeboden diensten die de mogelijkheden bieden tot het ontplooiën van activiteiten. Een winkel levert bijvoorbeeld als dienst de mogelijkheid om boodschappen te doen, terwijl een school op bepaalde tijdstippen onderwijs aanbiedt als dienst. Ook het ontvangen van visite is te beschouwen als een dienst;
- Voor het plaats bieden dan wel huisvesten van bedoelde diensten zijn activiteitsruimten nodig. De ruimtelijke situering van deze activiteitsruimten vormt de zogenaamde ruimtelijke structuur.

Voor de afstemming tussen de onderscheiden lagen zijn twee markten te onderkennen. Op de activiteitenmarkt is er sprake van een afstemming van de behoeften van personen en de aangeboden diensten. Op de activiteitsruimtenmarkt wordt het aanbod aan activiteitsruimten aangepast aan de vraag van diensten naar activiteitsruimten en omgekeerd. Deze markt is in Nederland sterk gereguleerd; door bestemmingsplannen wordt immers bepaald wat voor activiteiten mogen plaatsvinden op welk stuk grond. De woningmarkt is een voorbeeld van een deelmarkt van de activiteitsruimtenmarkt, evenals de kantoren- en sportterreinenmarkt.

Zoals in het bovenstaande reeds werd aangegeven, kunnen bij het transportsysteem vergelijkbare lagen en markten onderscheiden worden:

- De verplaatsingspatronen,
- De vervoerdiensten,
- De verkeersdiensten.

De afstemming tussen de onderscheiden lagen van het transportsysteem gebeurt op de vervoermarkt en de verkeersmarkt.



FIGUUR 1.6 OPBOUW VAN HET RUIMTELIJK SYSTEEM

Bij de afstemming tussen de onderscheiden lagen is het zinvol onderscheid te maken tussen korte termijn en lange termijn effecten. Met name op de korte termijn geldt dat de verkeersnetwerken de randvoorwaarden bepalen voor de vervoerdiensten en de vervoerdiensten de randvoorwaarden bepalen voor het verplaatsingenpatroon. Voor hetzelfde geldt dat op de korte termijn de ruimtelijke infrastructuur bepaalt welke diensten er kunnen worden geleverd op welke plaats, terwijl de geleverde diensten weer bepalen welke activiteiten er kunnen plaatsvinden. Zie Figuur 1.6. Ook bij de samenhang tussen activiteitensysteem en transportsysteem kan onderscheid gemaakt worden tussen korte en lange termijn effecten. Op de korte termijn zal steeds sprake zijn van een afstemming op microniveau tussen activiteitenpatronen en verplaatsingenpatronen van individuen. Iemand die van baan veranderd zal ook andere verplaatsingen maken. Deze verandering van verplaatsingenpatroon kan echter ook weer leiden tot veranderingen in het activiteitenpatroon doordat bij voorbeeld de andere werkplek het elders doen van boodschappen mogelijk maakt.

Ook op macroniveau zullen echter het activiteitensysteem en het transportsysteem elkaar beïnvloeden. Enerzijds kan hierbij gedacht worden aan de noodzaak nieuwe woongebieden zoals VINEX-lokaties of bedrijventerreinen te ontsluiten door de uitbouw van verkeersnetwerken. Anderzijds heeft de aanwezigheid van verkeersnetwerken invloed op de ruimtelijke configuratie van activiteitsruimten, zoals de ontwikkeling van de zogenaamde zichtlocaties laat zien. In dit soort gevallen gaat het duidelijk om lange termijn ontwikkelingen.

2 VERPLAATSINGSPATRONEN

2.1 Inleiding

In het voorgaande hoofdstuk is aandacht besteed aan het feit dat allerlei activiteiten plaats vinden in ruimtelijk gescheiden gebieden en op verschillende tijdstippen. De hiermee samenhangende activiteitenpatronen leiden tot verplaatsingenpatronen van personen, maar evenzeer van goederen. De in een bepaald gebied en voor een bepaalde periode geaggregeerde verplaatsingenpatronen kunnen worden beschouwd als de basis van de vervoervraag in dat betreffende gebied en die betreffende periode. Aan deze samenhang tussen activiteiten en verplaatsingen wordt aandacht besteed in paragraaf 2.2. Daarnaast zijn de eisen die de te vervoeren personen en goederen aan het vervoer stellen bepalend voor de vervoervraag.

Teneinde inzicht te krijgen in de samenstelling van het totale verplaatsingenpatroon van personen is het zinvol binnen dit totale patroon deelverplaatsingenpatronen te onderscheiden. Hetzelfde geldt voor het totale verplaatsingenpatroon van goederen. Wat betreft de meest relevante indelende variabelen moet bij het personenvervoer in eerste instantie gedacht worden aan de verplaatsingsmotieven en bij het goederenvervoer aan de soorten goederen. Voorts zijn van belang de verplaatsingsafstanden, de ruimtelijke spreidingspatronen en de tijdpatronen van de verplaatsingen. Deze verplaatsingskenmerken van het personenvervoer, respectievelijk het vervoer van goederen, zijn onderwerp van de paragrafen 2.2.2 en 2.3.

Bij de gegeven cijfers is (uitzonderingen daargelaten) geen onderscheid gemaakt naar de verschillende vervoerwijzen. We moeten ons overigens realiseren dat de vervoervraag niet een absoluut gegeven is. De omvang en samenstelling van de vervoervraag is niet alleen afhankelijk van externe gegevens maar ook van de aanbodkant van het vervoer- en verkeerssysteem. Zoals bij bijna alle producten en diensten is er ook in het vervoer- en verkeerssysteem een wisselwerking tussen vraag en aanbod.

2.2 Samenhang activiteiten en verplaatsingen

2.2.1 Personenverplaatsingen

Verplaatsingen

Om activiteiten buitenshuis te kunnen uitoefenen zijn afstandsoverbruggingen nodig tussen activiteitsruimten. Een personenverplaatsing is de afstandsoverbrugging van een persoon tussen een activiteitsplaats van herkomst (herkomstadres) en een activiteitsplaats van bestemming (bestemmingsadres) om aldaar een andere activiteit te gaan uitoefenen.

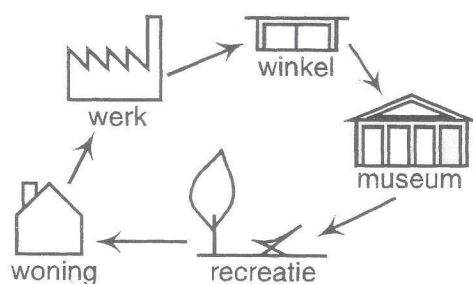
Boven gegeven begrippen herkomst en bestemming zijn in beginsel ook van toepassing op het goederenvervoer. In plaats van herkomst spreekt men dan echter vaak van 'plaats van lading', in plaats van bestemming van 'plaats van lossing'. Een verplaatsing heeft een reden, een motief (gaan werken, gaan winkelen) en dat verplaatsingsmotief wordt direct bepaald door de activiteit (werken, winkelen) of het type activiteitsruimte (kantoor, winkel) op de plaats van bestemming. Tijdens een verplaatsing kunnen achtereenvolgens verscheidene vervoerwijzen worden gebruikt. Doorgaans wordt aan een verplaatsing een hoofdvervoerwijze gekoppeld, namelijk die waarmee de grootste afstand wordt afgelegd.

Elke verplaatsing kent een offer, niet alleen in geld en tijd maar ook in ongemak. Dit offer noemen we de verplaatsingsweerstand: het is een gewogen som van diverse reistijdelementen (rijtijd, wachttijd, etc.), kostenelementen (brandstof, tol, parkeren, OV-tarief), en overige ongemakken. Uitgangspunt is dat een verplaatsing naar een activiteitsruimte alleen dan tot stand komt indien het nut van de aldaar uit te oefenen activiteit voor de beslissingnemer gelijk is aan of groter dan het offer (disnut) van de ermee gemoeide verplaatsing.

Het geheel van verplaatsingen van een individu of een groep individuen gedurende een bepaalde periode (dag, week, jaar) voor de diverse motieven en met de diverse vervoerwijzen vormt het verplaatsingenpatroon.

De verplaatsing van personen tussen een herkomst en bestemming noemen we vervoer. Het geheel van de gerealiseerde behoefte aan vervoer (de daadwerkelijk uitgevoerde verplaatsingen) is de vervoervraag. Deze vervoervraag kan nader worden getypeerd naar relatie (waar), tijd (wanneer), motief en vervoerwijze. De vervoervraaganalyse bestaat onder meer uit de analyse van het verplaatsingenpatroon en de vervoervraag, afhankelijk van het activiteitenpatroon en de bedieningskwaliteiten van de diverse vervoerwijzen.

De vervoeromvang wordt gekwantificeerd in aantallen vervoerde personen, de vervoerprestatie wordt uitgedrukt in personenkilometers (aantal personen maal het aantal per persoon afgelegde kilometers). Bij het openbaar vervoer wordt in plaats van de term personenkilometers meestal de term reizigerskilometers gebruikt.



Verplaatsingenketen

FIGUUR 2.1: VOORBEELD VAN EEN VERPLAATSIINGENKETEN

Verplaatsingen staan niet op zichzelf, maar worden uitgevoerd in ketens, opgezet vanuit een basis. Een verplaatsingenketen bij personenvervoer is een reeks van opeenvolgende verplaatsingen die begint bij de basis en via een of meer activiteitsruimten terugkeert naar de basis. Bij het personenvervoer is de woning de belangrijkste basis: de woninggebonden ketens omvatten meer dan 95% van alle ketens. Een klein aandeel verplaatsingenketens heeft de werkplek als basis: denk bijvoorbeeld aan zakelijke verplaatsingen en aan winkelen tijdens de werkpauze.

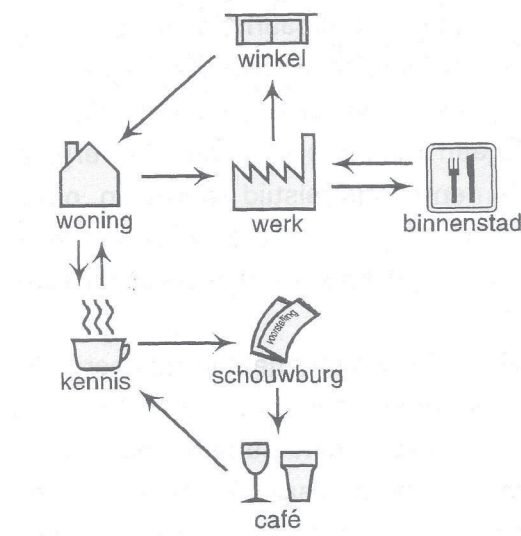
- Een grote meerderheid van de ketens (80%) zijn simpele ketens van twee verplaatsingen en een activiteit buitenshuis: bijvoorbeeld van huis naar werk of winkel en terug;
- Een zeer klein deel van de ketens (7%) bestaat slechts uit één verplaatsing: dit betreft een eindje toeren of wandelen;
- De overige ketens (13%) bestaan uit verbindingen van drie of meer activiteitsruimten (inclusief basis).

De meest voorkomende keten is de woon - winkel - woon - keten (17%). Het aantal ketens per persoon per dag is circa 1,4. Tabel 2.1 geeft het aantal ketens per persoon per dag (voor alle personen), waarbij onderscheid is gemaakt tussen het huis- en elders-gebonden ketens.

aantal verplaatsingen per keten	huis-gebonden	elders-gebonden
1	0,08	0,01
2	1,07	0,04
3 of meer	0,17	0,01

TABEL 2.1: AANTAL KETENS PER PERSOON PER DAG (ALLE PERSONEN), BRON: MON-DATABESTAND 2006

Vaak wordt gesproken van een tendens in de richting van meer complexe ketens. Dit zou vooral mogelijk worden gemaakt door het toenemende autobezit en de overall goede bereikbaarheid met de auto. Het combineren van verschillende activiteiten in één keten kan tot aanzienlijke besparingen in reistijd, afstand en reiskosten leiden voor het individu, maar daarmee tevens tot een vermindering van de totale vervoervraag. Dit speelt vooral bij bewoners van nieuwere stadsdelen en suburbane gebieden, verder afgelegen van binnensteden, omdat die grotere afstanden moeten afleggen voor een zelfde aantal activiteiten dan bewoners in of nabij binnensteden. In de statistieken van het verplaatsingsgedrag is een dergelijke tendens echter niet zichtbaar. Het komt uiteraard ook voor dat iemand op een dag twee of meer verplaatsingenketens maakt. Zie Figuur 2.2.



FIGUUR 2.2: VERPLAATSINGENKETEN

De reiziger formeert zo gunstig mogelijke verplaatsingenketens om maximaal nut uit de te verrichten activiteiten te halen. Het verplaatsingskeuzegedrag, vooral de vervoerwijze- en bestemmingskeuze, wordt bepaald door de kenmerken van de hele keten, niet door die van de afzonderlijke verplaatsingen.

2.2.2 Verplaatsingen van goederen

Ook bij het goederenvervoer kan onderscheid gemaakt worden tussen de verschillende soorten activiteiten die leiden tot vervoervraag. De verplaatsing van goederen tussen plaatsen van lading en lossing noemen we vervoer, het geheel van het gerealiseerde vervoer de vervoervraag (analoog aan personenvervoer). De vervoeromvang, ook wel vervoervolume genoemd, wordt uitgedrukt in (vervoerde) tonnen, laadeenheden of kubieke meters. De vervoerprestatie wordt uitgedrukt in (lading)tonkilometers, het aantal vervoerde tonnen maal de vervoerafstand.

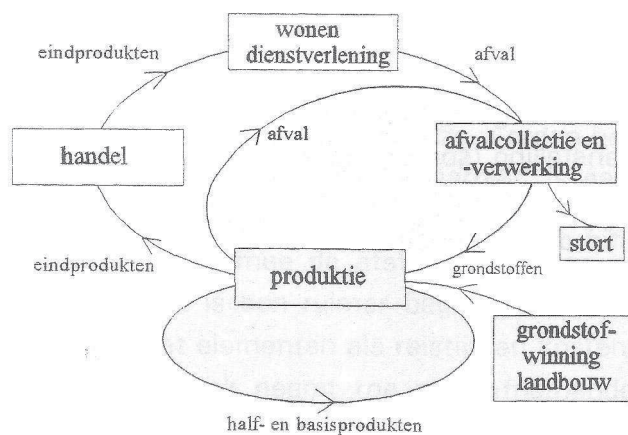
De vervoervraag kan verder worden uitgedrukt in de kenmerken:

- samenstelling (soort goederen),
- richting (herkomst, bestemming, maar ook: binnenlands, internationaal),
- tijdstip of tijdperiode.

activiteit	aanvoer*1	afvoer*2
vind-/winplaatsen	-	grondstoffen
agrarische bedrijven	meststoffen, veevoer	agrarische producten
productie halffabricaten	grondstoffen	halfproducten, componenten
productie eindproducten	grondstoffen, halffabricaten,	eindproducten, componenten
handel	componenten	eindproducten
huishoudens en diensten	eindproducten, componenten*2	afval
	Eindproducten	
*1	exclusief goederen t.b.v. huisvesting e.d. en goederen die voor de exploitatie gebruikt worden (zoals brandstoffen)	
*2	in sommige gevallen wordt in de 'handelsketen' pas het eindproduct geassembleerd (zoals computers)	

TABEL 2.2: BELANGRIJKSTE SOORTEN AAN TE VOEREN EN AF TE VOEREN GOEDERENSOORTEN BIJ VERSCHILLENDE ACTIVITEITEN

De verschillende activiteiten zijn verbonden in een keten of zelfs in een kringloop, deze zijn in Figuur 2.3 weergegeven.



FIGUUR 2.3: PRODUCTKETEN

Hoewel de 'kringloop' in het goederenvervoer iets weg heeft van een gesloten keten, net als in het personenvervoer, is de tijdsdimensie heel anders. Waar bij personenverplaatsingen de keten meestal binnen enkele uren gesloten wordt, kan dat bij goederen decennia duren. Bovendien veranderen goederen sterk van verschijningsvorm en eigenschappen binnen de kringloop. Het is voor de meeste vervoeranalyses dan ook handiger de keten als niet-gesloten te beschouwen. De toevoerende en afvoerende goederenstromen zijn alleen bij handelsondernemingen bij benadering gelijk van omvang. Voor het overige geldt dat de ingaande en uitgaande goederenstromen sterk verschillend van omvang en samenstelling kunnen zijn.

Omdat goederen geen eigen wil hebben en zichzelf niet kunnen verplaatsen, moet goederenvervoer altijd georganiseerd worden. De wijze waarop die organisatie plaatsvindt, heeft grote invloed op de eigenschappen van de goederenstroom. Binnen de organisatie, of logistiek, van een bedrijf kan onderscheid worden gemaakt tussen materials management (het gedeelte van de logistiek dat zich bezig houdt met interne goederenstromen) en de fysieke distributie: het onderdeel van de bedrijfslogistiek dat zich bezig houdt met het vervoeren van goederen (buiten of tussen productie- of opslaglocaties). Doel van logistiek is ervoor te zorgen dat de gewenste goederen in de gewenste hoeveelheden in de gewenste kwaliteit op de gewenste plaats en op het gewenste tijdstip beschikbaar zijn, tegen minimale kosten. Om kosten te reduceren, zal in de meeste bedrijven allereerst getracht worden de interne goederenstromen te optimaliseren, bijvoorbeeld door ervoor te zorgen dat het aantal onder handen zijnde producten minimaal is ('pijplijnvoorraad' minimaliseren) en dat de tijd tussen het ontvangen van een order en het afleveren van een gereed product (de 'lead-time') wordt geminimaliseerd.

Bij de zogenaamde integrale logistieke benadering worden bij de optimalisatie ook activiteiten betrokken die zich buiten het eigen bedrijf afspelen: ook de fysieke distributie wordt erbij betrokken. Er worden afspraken gemaakt met leveranciers, transporteurs en afnemers, zodat het productieproces zo goed mogelijk aansluit bij de vraag, toeleveranties zo goed mogelijk aansluiten bij het productieproces en er zo min mogelijk afstemmingsverliezen optreden. De eigenschappen van de goederenstroom zullen daarom in hoge mate beïnvloed worden door de logistieke processen die zich in de keten afspelen.

Kanttekening:

Hoewel de term 'ketenlogistiek' suggereert dat er binnen zo'n keten centrale besturing zou plaatsvinden, is dit slechts zelden het geval. Slechts weinig bedrijven zijn in staat (hebben de macht) om logistieke processen buiten hun directe invloedsgebied aan te sturen. Door intensieve samenwerking tussen producenten en logistieke dienstverlening kunnen logistieke processen wel goed op elkaar worden afgestemd.

Analoog aan het personenvervoer, is ook bij het goederenvervoer de omvang en de spreiding van, vooral economische, activiteiten van belang. De activiteitencentra voor het goederenvervoer vallen gedeeltelijk samen met die voor het personenvervoer: daar waar veel mensen zijn, is immers ook veel vraag naar (eind-)producten. Daarnaast zijn bepaalde (handels-) activiteiten nauw gekoppeld aan inwonersconcentraties. Er zijn echter ook belangrijke industriële en handelsconcentraties op

plaatsen waar geen grote bevolkingsconcentraties zijn. Te denken is hierbij aan havengebieden, aan industriegebieden en aan distributiecentra.

2.2.3 Geleding van verplaatsingen

Een verplaatsing is in veel gevallen opgebouwd uit onderdelen, ritten genoemd, die met verschillende vervoermiddelen (of lopend) worden afgelegd. Een rit is dus een deel van een verplaatsing dat met een zelfde vervoermiddel is afgelegd. Een verplaatsing is een aaneengesloten keten van ritten.

Typische ritketens zijn:

herkomst	- lopen - auto - lopen -	bestemming: 3 ritten,
herkomst	- fietsen -	bestemming: 1 rit,
herkomst	- lopen - bus - trein - fiets -	bestemming: 4 ritten.



FIGUUR 2.4 RITKETEN

In deze systematiek verdient de rol van lopen extra aandacht. In bovenstaand voorbeeld is bijvoorbeeld geen sprake van lopen bij het gebruik van de fiets en bij de overstap tussen bus en trein, terwijl er bij de auto blijkbaar sprake is van parkeerplaatsen op enige afstand van de herkomst en bestemming. Een alternatieve definitie kan zijn dat lopen een universele vervoerwijze is voor voor- en natransport en voor overstappen. In dat geval, bestaan de bovenstaande voorbeelden uit 1 rit, 1 rit respectievelijk 3 ritten. Nadeel hiervan is dat een lange loopafstand naar het station buiten beschouwing wordt gelaten. Voor een systematische analyse van ritketens verdient het aanbeveling een minimale loopafstand te hanteren.

2.3 Verplaatsingskenmerken personenvervoer

2.3.1 OVG en MON

Het Onderzoek Verplaatsingsgedrag (OVG) is een huishoudenquête waarin jaarlijks circa 70.000 huishoudens en meer dan 160.000 personen werden ondervraagd over hun activiteitenpatroon en het daaraan gekoppelde verplaatsingsgedrag. Dit betekent dat per jaar gegevens over meer dan 600.000 verplaatsingen beschikbaar zijn.

Sinds 1978 wordt het OVG gehouden. In de loop der tijd is wel het een en ander veranderd aan de onderzoeksmethode, wat problemen oplevert bij tijdreeksanalysen. Voorbeelden hiervan zijn de overgang van enquêtedagboekjes naar eendagsenquêtes met een telefonische benadering, de omvang van de steekproef, het wel of niet meenemen van kinderen jonger dan 12 jaar en met ingang van 1999 telefonische controle bij non-response. Onderzoek naar deze laatste wijziging leerde bijvoorbeeld dat in tegenstelling tot de verwachting, de non-response vooral werd veroorzaakt door niet mobiele personen.

Met ingang van 2004 is het OVG vervangen door het MON (MobiliteitsOnderzoek Nederland) dat in opdracht van de Dienst Verkeer en Scheepvaart van Rijkswaterstaat (voorheen Adviesdienst Verkeer en Vervoer) wordt uitgevoerd. In deze nieuwe opzet is het aantal respondenten gedaald. De nieuwe opzet biedt tevens de mogelijkheid de steekproef plaatselijk te verdichten of om specifieke onderzoeksvragen in het onderzoek mee te nemen. Voor 2004 was het doel 50.000 respondenten. In de praktijk is door het meerwerk de respons hoger geweest: 67.500 personen.

In de afgelopen jaren is de steekproefomvang echter steeds kleiner geworden. De gegevens in de volgende paragrafen zijn grotendeels gebaseerd op het MON en het OVG.

2.3.2 Kengetallen personenvervoer

Het verplaatsingspatroon, oftewel de vervoervraag zoals wij die dagelijks waarnemen, is de resultante van miljoenen afzonderlijke verplaatsingen en dagelijkse keuzes van individuen. De gemiddelde Nederlander maakt ongeveer 2,9 verplaatsingen per dag en 20 per week. Voor heel Nederland zijn dat bijna 50 miljoen verplaatsingen op een dag.

We interesseren ons enerzijds voor het verplaatsingspatroon op microniveau, dat is voor het gedrag van het individu. Op dat niveau worden de beslissingen genomen (bijvoorbeeld vervoerwijzekeuze) die we willen begrijpen en eventueel beïnvloeden. Anderzijds zijn we geïnteresseerd in wat op macroniveau gebeurt, de sommatie van al die individuele verplaatsingen. Op macroniveau (op straat, in de trein) worden we geconfronteerd met de maatschappelijke voor- en nadelen van het vervoer (congestie, milieuschade en dergelijke, maar ook bereikbaarheid van scholen en bedrijven) waar we eventueel iets aan willen doen.

Zowel op micro- als op macroniveau wordt het verplaatsingspatroon bepaald door enerzijds relatief constante kengetallen en anderzijds veranderlijke grootheden. Belangrijke veranderlijken op microniveau zijn autobezit, inkomen, leeftijd, huishoudensituatie en geografische locatie van het huishouden. Belangrijke veranderlijken op macroniveau zijn de aantallen (inwoners, auto's) per deelgroep. We kunnen de kwantiteiten van het macroniveau ramen door homogene deelgroepen te onderscheiden (met een doorgaans veranderlijke omvang) en van elke deelgroep de stabiele kengetallen van het gedrag aan te geven. Vermenigvuldiging van deze kengetallen met de omvang van de deelgroep geeft het macrototaal. De omvang van de deelgroep is doorgaans een veranderlijke.

Macrototaal = $\sum_i$ (parameter groep i • omvang groep i)

VOORBEELD 2.1: 2004

Kengetal:	gemiddeld jaarkilometrage per personenauto is 15.534 km
Omvang:	aantal personenauto's is 6,9 mln
Totaal:	aantal personenautokilometers is 107 mld.

Om de kwantiteiten van het verkeer- en vervoersysteem gemakkelijk in de vingers te krijgen, is het dus nodig de juiste deelgroepen te onderscheiden en daarvan de stabiele kengetallen te weten. Deelgroepen moeten een homogeen (ten opzichte van andere groepen) en in de tijd stabiel gedrag vertonen en de omvang van de groep moet bekend zijn of gemakkelijk te ramen uit beschikbare statistieken.

Eenheden waarop het personenvervoer kan worden betrokken, zijn bijvoorbeeld:

- personen, eventueel nader onderverdeeld bijvoorbeeld naar werkers/ niet-werkers, naar autobezit, naar leeftijd,
- auto's,
- huishoudens, eventueel onderverdeeld naar grootte of autobezit,
- woningen,
- arbeidsplaatsen (bij woon-werk- en zakelijke verplaatsingen),
- vierkante meter vloeroppervlak (bij winkelverplaatsingen).

Hiervan zijn doorgaans voor diverse ruimtelijke eenheden goede statistieken beschikbaar.

Welke kengetallen van het verplaatsingspatroon zijn geschikt en bekend?

We kunnen naar vier grootheden kijken:

- aantal verplaatsingen,
- reistijden, respectievelijk tijdsbesteding aan vervoer,
- afgelegde kilometers,
- reissnelheden (als afgeleide van afstanden en tijden).

Het aantal verplaatsingen per persoon, respectievelijk huishoudentype is een redelijke constante, zowel in de tijd in Nederland als tussen landen. Deze bedraagt voor de hele bevolking ongeveer 2,9

per dag (zie ook Tabel 2.3). Dit kengetal verschilt enigszins naar bevolkingscategorie: hij neemt bijvoorbeeld toe met stijgend inkomen en opleidingsniveau. De constantheid vloeit vooral voort uit het feit dat vervoer een afgeleide vraag is: het gaat om de activiteiten. Het aantal en de diversiteit van het activiteitenpatroon buitenshuis zullen niet zo snel veranderen omdat het bij veel activiteiten om noodzakelijke basisbehoeften (werken, schoolgaan en winkelen) of om sterk cultureel bepaalde gewoonten gaat (op visite gaan, sportbeoefening). Bovendien is de tijd om meer activiteiten te ontplooiën beperkt: een dag heeft maar 24 uur en het merendeel daarvan is al benut door noodzakelijke activiteiten zoals slapen en werken. Overigens laten statistieken uit het verleden ook andere waarden zien, variërend tussen 2.9 en 3.7 verplaatsingen per persoon per dag. Deze variatie is echter primair het gevolg van andere onderzoeksmethodieken en niet van ander verplaatsingsgedrag.

Een andere constante is de tijd besteed aan verplaatsen. Deze bedraagt op dit moment circa 70 minuten gemiddeld per persoon. De betreffende constantheid van dit kengetal wordt vooral bepaald door de absolute grens aan het totale tijdbudget voor alle activiteiten (namelijk 24 uur per dag) en door de geringe speelruimte die voor verplaatsingstijd overblijft gegeven de tijdsbesteding nodig voor de activiteiten zelf. Er moet een zeker evenwicht zijn tussen het nut van activiteiten en de reistijd die daarvoor wordt geïnvesteerd.

Uit beide "gedragsconstanten" volgt een gemiddelde verplaatsingstijd van 24 minuten. Dit kengetal heeft geen gedragsmatige interpretatie, maar is slechts de rekenkundige resultante van het feit dat aantal verplaatsingen en totaal reistijdbudget beide in dezelfde richting in dezelfde mate groeien.

Het minst stabiel zijn de afstandsgrootheden. Reisafstanden groeien door toenemend autobezit, verbeteringen in de bereikbaarheid en ruimtelijke verschuivingen van de activiteitsruimten. Tussen 1985 en 2006 groeide de gemiddelde verplaatsingsafstand met ca 20% van ca 9 naar ca 11 km. Aangezien de gemiddelde reistijd onveranderd bleef, ging deze afstandsgroei gepaard met (en werd mede veroorzaakt door) een algemene snelheidstoename. Stabieler afstandskengetallen kunnen worden gevormd door deelgroepen te vormen naar bijvoorbeeld autobezit of autobeschikbaarheid, respectievelijk naar lokale en interlokale verplaatsingen.

In dit verband kan ook verwezen worden naar de zogenaamde 'BREVER-Wet' (wet van Behoud van Reistijd en Verplaatsingen) van Hupkes (1977, 1979). Hupkes constateert dat de gemiddelde bestede reistijd en het gemiddeld aantal verplaatsingen per persoon in een aantal (geïndustrialiseerde) landen met verschillend welvaartsniveau ongeveer even groot is. Slechts de afgelegde afstanden nemen door de ontwikkeling van het vervoer- en verkeerssysteem steeds verder toe.

Schafer (1997, 1998) stelt dat mensen een globaal te voorspellen aandeel van hun inkomen gemiddeld aan vervoer besteden. In ontwikkelingslanden, waar de meeste mensen zijn aangewezen op niet-gemotoriseerde vervoerwijzen en openbaar vervoer, is dit aandeel 3 tot 5%. Dit aandeel stijgt met een toenemend autobezit om te stabiliseren op een niveau van 10 tot 15% bij een autobezit van 0,2 auto per inwoner of hoger.

Personen besteden voorts gemiddeld een constant deel van hun dagelijks beschikbare tijd aan het maken van verplaatsingen, het zogenaamde reistijdbudget. Uit een aantal onderzoeken blijkt volgens Schafer dat dit reistijdbudget ligt tussen 1,0 en 1,5 uur per dag met een gemiddelde van 1,1 uur per dag. Dit geldt net zo goed voor inwoners van Afrikaanse dorpen als voor inwoners van Japan, Singapore, West Europa en Noord-Amerika.

2.3.3 Onderscheid naar motieven en afstanden

Verplaatsingen kunnen worden gegroepeerd naar het motief ervan, dat wil zeggen naar gelang de soort activiteit op het bestemmingsadres. Men kan duizenden verschillende soorten activiteiten onderscheiden die mensen doen, van vissen tot naailes. Om overzicht te krijgen in het verplaatsingsgedrag is echter een groepering nodig in een gering aantal klassen, met het probleem dat in sommige klassen zeer ongelijksoortige activiteiten voorkomen. Vooral in de sociaalrecreatieve motiefgroepen is dat het geval, waarin onder meer cafébezoek en sporten zijn samengevoegd. We hanteren de CBS-groepering in 8 motiefgroepen. Daarin komt het motief 'naar huis gaan om te wonen' niet voor. Verplaatsingen naar huis hebben als motief de activiteit op het herkomstadres gekregen. Bij de interpretatie van de navolgende tabellen dient hiermee rekening te worden gehouden; met onderstaande percentages kan naar behoefte een andere verdeling over motieven worden gemaakt.

Motief	Aantal verplaatsingen per dag	%	Kilometrage per persoon per dag [km]	%	Gemiddelde afstand per verpl. [km]	Mediane afstand per verpl. [km]
Van en naar het werk	0,52	18	8,9	26	17	9
Zakelijk (werk)	0,08	3	2,7	8	32	12
Onderwijs	0,28	10	1,8	5	6	2
Winkelen	0,64	22	3,1	9	5	2
Visite/logeren	0,45	15	6,7	20	15	5
Ontspanning/sport	0,39	13	5,3	16	14	4
Toeren/wandelen	0,20	7	3,0	9	15	3
Overig	0,37	13	2,4	7	6	2
Totaal	2,94	100	33,8	100	11	3

TABEL 2.3: KERNCIJFERS MOBILITEIT PER MOTIEF [BRON: MON-DATABESTAND 2006]

Van alle verplaatsingen gaat 55% naar een activiteitsruimte buitenshuis; 45% van de verplaatsingen gaat naar de eigen woning. Deze scheve verhouding is het gevolg van ketenvorming van activiteiten: 20% van de verplaatsingen zit in een keten met twee of meer activiteiten buitenshuis.

Het onderscheid in aparte motiefgroepen neemt niet weg dat er een wisselwerking tussen (de verplaatsingskenmerken van) motieven kan bestaan, vooral door ketenvorming van activiteiten. Verandering van werktijden zal bijvoorbeeld niet alleen leiden tot verandering van woon-werkverplaatsingen (bijvoorbeeld andere vervoerwijze), maar wellicht ook van winkel- of sportverplaatsingen. De gemiddelde Nederlander legt per dag totaal 34 km af: de gemiddelde verplaatsing is dus ongeveer 11 km lang, maar de helft van de verplaatsingen is korter dan 3 km (mediane afstand)! Het grote verschil tussen gemiddelde en mediane afstand maakt duidelijk dat er heel veel korte verplaatsingen zijn waarvan de afgelegde kilometers worden gecompenseerd door relatief weinig zeer lange verplaatsingen. Iets minder dan 5% van de verplaatsingen is langer dan 50 km, 1,5% is langer dan 100 km.

De totale vervoervraag bestaat voor circa de helft uit 'verplicht' vervoer (must: voor werken, onderwijs, winkelen) en voor de andere helft uit 'pleziervervoer' (lust), zowel uitgedrukt in verplaatsingen als in personenkilometers. De categorie lust is in ruimte en tijd zeer gespreid (kriskras) en is daardoor moeilijk met beleid in een bepaalde richting te sturen en vormt hierdoor een probleem voor de vervoerplanning. Must-verplaatsingen daarentegen zijn sterk geconcentreerd in ruimte en tijd en hebben daardoor een grote bijdrage aan de congestieproblematiek.

De meest frequente verplaatsingen zijn om te winkelen: gemiddeld maakt bijna elke inwoner dagelijks een winkelverplaatsing. Qua afgelegde kilometers vormen de winkelverplaatsingen echter geen belangrijke groep: gemiddeld zijn deze verplaatsingen erg kort (5 km); 75% van alle winkelverplaatsingen blijft binnen de eigen woonplaats (50% is korter dan 2 km).

De woon-werkverplaatsingen vormen (maar) een kwart van alle kilometers. Dit staat in contrast tot de grote aandacht die dit verplaatsingsmotief doorgaans in de planning en in de publieke meningsvorming krijgt. Meer dan de helft van alle woon-werkverplaatsingen zijn interlokaal (mediane afstand is 7 km). Het aandeel auto bestuurder bij woon-werkverplaatsingen is 53% en in verplaatsingskilometers 68%. Gecombineerd met de sterke concentratie in de tijd, veroorzaken woonwerk-verplaatsingen sterke pieken en zijn daarmee een bepalende factor voor de dimensionering van rail- en weginfrastructuur en de daarmee gemoeide kosten. Een spreiding van het woon-werkvervoer in de tijd (bijvoorbeeld door gespreide werktijden, 4-daagse werkweken, telewerken, etc.) zou hier soelaas kunnen bieden.

Het zakelijk vervoer bestaat aan de ene kant uit veel korte verplaatsingen in de stad (loodgieters) en kent aan de andere kant veel interlokale langeafstandsverplaatsingen (vertegenwoordigers): gecombineerd leidt dat tot een gemiddelde verplaatsingsafstand van 32 km, zakelijk vervoer is in dat opzicht de koploper onder de motieven.

Afstand [km]	Werk	Zakelijk	Onderwijs	Winkel	Visite	Ontspanning	Toeren	Overig	Totaal
0.00-2.50	19	17	56	55	36	38	41	53	41
2.50-5.00	14	12	14	18	15	20	17	15	16
5.00-5.50	13	10	10	11	12	13	13	11	12
7.50-10.0	6	4	3	3	5	5	4	4	4
10.0-12.5	9	8	4	5	6	6	5	4	6
12.5-15.0	3	2	2	1	2	1	1	1	2
<15	64	54	89	93	76	83	81	90	81
15-30	18	17	6	5	10	9	8	6	9
30-45	8	9	3	1	5	3	4	2	4
45-60	4	5	1	1	2	1	2	1	2
>60	6	16	1	0	7	4	6	2	4
Tot.	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Tot. #	0,52	0,08	0,28	0,64	0,45	0,39	0,20	0,37	2,94

TABEL 2.4: PROCENTUELE VERDELING VAN DE VERPLAATSINGEN OVER DE AFSTANDSKLASSEN PER MOTIEF
[BRON: MON-DATABESTAND 2006]

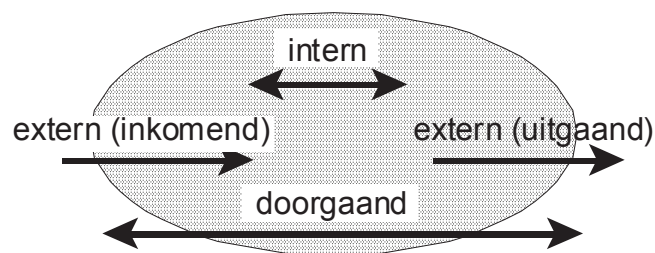
De afstandsverdelingen van de verplaatsingen verschillen duidelijk per motief (Tabel 2.4): vergelijk bijvoorbeeld zakelijk en winkelvervoer. Veel motieven vertonen een duidelijke tweedeling in veel korte (binnenstedelijke) en veel lange (interlokale) ritten. Er is duidelijk sprake van twee deelmarkten: de interne of lokale en de externe of interlokale, zie Figuur 2.5.

2.3.4 Ruimtelijk spreidingspatroon

Verplaatsingen verbinden herkomsten met bestemmingen. Het ruimtelijk spreidingspatroon van de verplaatsingen is een van de essenties van het vervoer. Interne verplaatsingen zijn verplaatsingen die zich geheel binnen de grenzen van een studiegebied afspelen. Externe verplaatsingen hebben een herkomst óf bestemming buiten het studiegebied en doorgaande verplaatsingen hebben een herkomst én bestemming buiten het gebied.

Kanttekening:

Indien het studiegebied een gemeente is, spreekt men ook wel van lokale (interne) en interlokale (externe) verplaatsingen. Indien het studiegebied een regio is, spreekt men van regionale en interregionale verplaatsingen. Het is zaak het ruimtelijk schaalniveau in de gaten te houden, daar op verschillende niveaus gelijksoortige termen worden gebruikt. Zo beschouwen internationale vliegmaatschappijen vluchten tussen Amsterdam en Parijs als 'regionaal'.



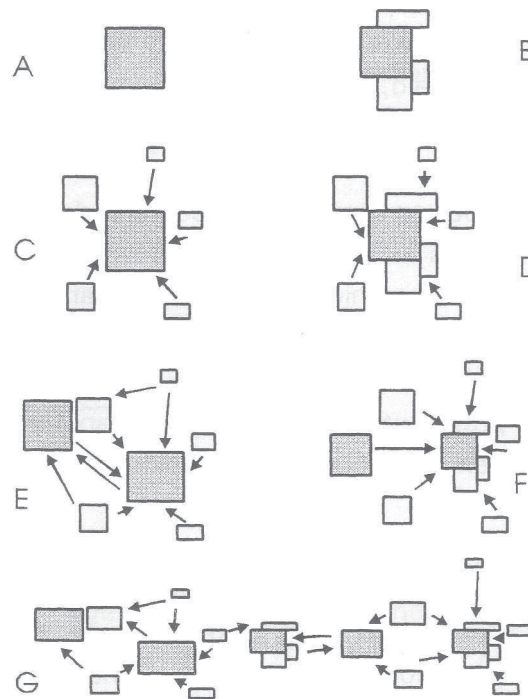
FIGUUR 2.5: VERSCHILLENDE VERPLAATSINGEN

Nog steeds vindt het grootste deel van de personenmobiliteit (circa 66%) plaats binnen de eigen woongemeente, althans gemeten in aantallen verplaatsingen. Qua vervoerprestatie is echter circa 75% interlokaal en vindt dus plaats tussen gemeenten. Deze landelijke gemiddelden dienen voor toepassing op afzonderlijke plaatsen te worden aangepast aan grootte en (centrum)functie van de plaats. Vooral kleine plaatsen hebben een hoog aandeel externe verplaatsingen, vooral gemaakt door de inwoners ervan. De interlokale vervlechting van activiteiten is een al sinds decennia toenemend verschijnsel, opgeroepen door economische processen en mogelijk gemaakt door de beschikbaarheid van snelle vervoerwijzen, eerst trein, later auto. Het aandeel interlokale verplaatsingen en de daarmee gemoeide afstanden zullen voorlopig blijven toenemen, aangezien de drijvende krachten erachter nog steeds actief zijn:

- specialisering productieprocessen,
- ruimtelijke schaalvergroting,
- betere bereikbaarheid door aanleg infrastructuur,
- toename autobezit.

Hiermee samenhangende ontwikkelingen in ruimtelijke ordening zijn:

- sterke spreiding van woonlocaties,
- ontwikkeling van voorsteden om bevolkingsoverloop op te vangen,
- ontwikkeling van woonkernen op afstand van de grote steden (doorgaans binnen 15 km hemelsbreed); voorbeelden hiervan zijn: Almere bij Amsterdam, Capelle aan den IJssel bij Rotterdam, Zoetermeer bij Den Haag en Houten bij Utrecht.



FIGUUR 2.6: VERSTEDELIJKINGSVORMEN

Verklaring:

- A: stad, bijvoorbeeld Delft
 B: agglomeratie, Den Haag
 C: stadsgewest, Utrecht (met stad als centrum)
 D: stadsgewest, Rotterdam (met agglomeratie als centrum)
 E: stadsgewest Hengelo-Enschede (met twee steden als centrum)
 F: stadsgewest Arnhem-Nijmegen (met stad en agglomeratie als centrum)
 G: stedelijke zone, Randstad

Zo ontstonden naast steden stadsgewesten, agglomeraties en stedelijke zones. Door deze ontwikkelingen zijn niet alleen de verplaatsingsafstanden sterk gegroeid, ook de richting van de vervoerstromen is hierdoor veranderd. Waren die vroeger in hoofdzaak gericht op de stadscentra en sterk gebundeld, waarvoor radiaal gerichte wegen, fiets- en OV-routes ideaal zijn. Nu gaat een groot en toenemend deel naar de randen van de (grote) steden, naar perifere zones en suburbane gebieden en vertonen een kriskras patroon. Als gevolg hiervan schiet de actieradius van de fiets vaak tekort, voldoen de radiale OV-routes niet meer en is er onvoldoende bundeling voor een efficiënt OV. Bij het uitblijven van passende investeringen in het openbaar vervoer, is een grotere preferentie ontstaan voor de vervoerwijze waarmee deze verplaatsingspatronen nog enigermate efficiënt kunnen worden volbracht: de auto.

In de grotere plaatsen, vanaf rond 50.000 inwoners, wordt een steeds groter deel van de daar afgewikkelde kilometers gemaakt door personen die elders wonen. Dit heeft grote consequenties voor de verkeersplanning in de steden. De steden worden steeds afhankelijker van wat in andere plaatsen gebeurt: voor een aantrekkelijke interlokale OV-verplaatsing bijvoorbeeld is zowel goed voortransport als goed natransport nodig. Als slechts een van de twee einden goed is geregeld, is het OV geen aantrekkelijk alternatief. Fietsbeleid heeft doorgaans alleen effect op het interne verkeer en niet op de externe verplaatsingen, want die zijn veelal te lang voor fietsgebruik. Wel kan de fiets een belangrijke rol vervullen als voortransport naar knooppunten van interlokaal openbaar vervoer.

Dominante vervoerwijzen

We kunnen ons het verplaatsingenpatroon voorstellen op drie ruimtelijke schaalniveaus: binnen de woonplaatsen, tussen de kernen binnen de stadsgewesten en tussen de stadsgewesten. Binnen de woonplaatsen domineren de langzame vervoerwijzen fietsen en lopen, met de auto op een derde plaats. Op de twee hogere schaalniveaus domineert de auto gezien de grotere afstanden. In het straatbeeld van de stad is echter de auto steeds overheersend aanwezig: dit komt door het grote gewicht van de externe verplaatsingen. Bekijken we de afgelegde autokilometers in een gemiddelde plaats, dan is slechts 30% van deze kilometers het gevolg van interne verplaatsingen; 70% van de kilometers ontstaan door externe verplaatsingen (deels gemaakt door eigen inwoners, deels door bezoekers van elders). Deze tweedeling van de verkeersprestatie in de stad plaatst de verkeersplanners voor een grote opgave.

Het overgrote deel van de interlokale verplaatsingen is stadsgewestelijk van aard. Slechts een minderheid vindt plaats tussen de stadsgewesten.

Het gebruik van de vervoerwijzen per motief is in de volgende tabellen weergegeven. Let hierbij op de invloed van de eenheden: verplaatsingen of verplaatsingskilometers.

Motief	Lopen	Fiets	Brom-/snorfiets-	Autobestuurder	Autopassagier	Bus, touringcar	Tram, metro	Trein	Overig	Totaal	Aandeel motief
Werk	4	25	2	53	5	3	2	5	1	100	18
Zakelijk	3	8	1	74	7	1	1	3	4	100	3
Onderwijs	22	47	1	4	12	5	2	6	1	100	10
Winkelen	19	29	1	31	16	1	1	0	2	100	22
Visite	15	20	1	32	28	1	0	1	1	100	15
Ontspanning, sport	14	31	1	26	23	1	1	1	1	100	13
Toeren	63	12	0	9	10	1	0	1	3	100	7
Overig	17	25	0	39	15	1	1	0	2	100	13
Totaal	19	26	1	32	15	2	1	2	2	100	100

TABEL 2.5: PROCENTUELE VERDELING VAN DE VERPLAATSINGEN OVER DE VERVOERWIJZEN PER MOTIEF
[BRON: MON-DATABESTAND 2006]

Motief	Lopen	Fiets	Brom-/snorfiets-	Autobestuurder	Autopassagier	Bus, touringcar	Tram, metro	Trein	Overig	Totaal	Aandeel motief
Werk	1	6	2	68	7	3	1	11	2	100	26
Zakelijk	0	1	0	76	7	1	0	6	8	100	8
Onderwijs	3	23	2	14	10	14	4	29	3	100	5
Winkelen	3	12	1	45	32	2	1	3	1	100	9
Visite	1	4	1	43	43	1	0	6	1	100	20
Ontspanning, sport	2	10	0	37	37	3	1	8	3	100	16
Toeren	11	8	2	25	36	4	0	8	5	100	9
Overig	2	7	0	59	25	1	1	3	2	100	7
Totaal	2	8	1	50	24	3	1	9	2	100	100

TABEL 2.6: PROCENTUELE VERDELING VAN DE VERPLAATSINGSKILOMETERS BINNEN NEDERLAND OVER DE VERVOERWIJZEN PER MOTIEF [BRON: MON-DATABESTAND 2006]

2.3.5 Tijdpatronen personenverplaatsingen

De vraag naar vervoer, het verplaatsingspatroon, is gekenmerkt door zeer duidelijke ritmische patronen. We kunnen onderscheid maken naar:

- dagritme: het verloop over de uren van de dag,
- weekritme: het verloop over de dagen van de week,
- jaarritme: het verloop over de maanden en seizoenen,
- het verloop over de jaren; economische conjunctuur.

De ritmes zijn duidelijk te constateren bij het gebruik van de diverse vervoerwijzen waar door de fluctuaties in de vervoervraag piek- en dalverschijnselen optreden: ochtend- en avondpieken op de weg en in het OV en vakantiepieken. Deze ritmes zijn van grote betekenis voor de verkeersplanner omdat ze directe invloed hebben op de dimensionering van verkeersvoorzieningen en vervoerdiensten. De ritmes leiden op het ene moment tot overbenutting met congestie en op het andere moment tot onderbenutting, en in beide situaties is sprake van oneconomisch gebruik van de vervoer- en verkeersvoorzieningen.

De ritmische patronen in het vervoer zijn een direct uitvloeisel van de ritmische patronen in de maatschappelijke processen waarvan het vervoer een afgeleide is. Aan de basis hiervan liggen natuurlijke processen zoals het dag/nachtritme en de seizoenswisselingen waaraan vele economische en sociale processen zich hebben aangepast. In vele processen zit bovendien een logisch-noodzakelijke synchroniciteit omdat ze anders niet kunnen worden uitgeoefend: werken, onderwijs volgen en sociale contacten vereisen de gelijktijdige activiteit en aanwezigheid van velen. Ook om economische redenen (schaaleffecten) wordt veelal aangestuurd op bundeling van activiteiten in tijd en ruimte.

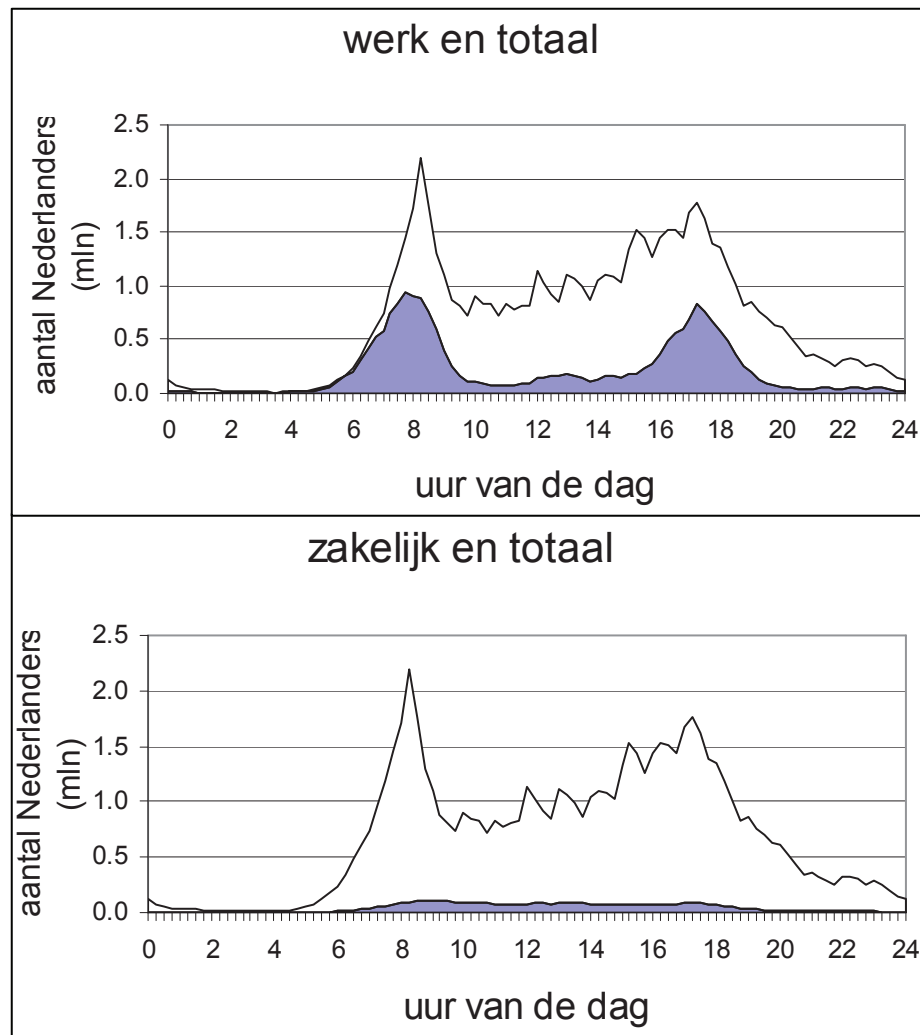
Om pieken in de vervoervraag af te vlakken en zodoende een beter en goedkoper vervoer aan te kunnen bieden, wordt op allerlei manieren geprobeerd het tijdstipkeuzegedrag van de consument te beïnvloeden. Dit kan allereerst gebeuren aan de activiteitenkant: vakantiespreiding, variabele werktijden, ruimere openingstijden van winkels en voorzieningen, telewerken, teleleren, telebankieren. Beïnvloeding is echter ook goed mogelijk aan de vervoeraanbodkant door invoering van vraag- en tijdsafhankelijke tarieven (bij het OV, tolheffing, parkeren).

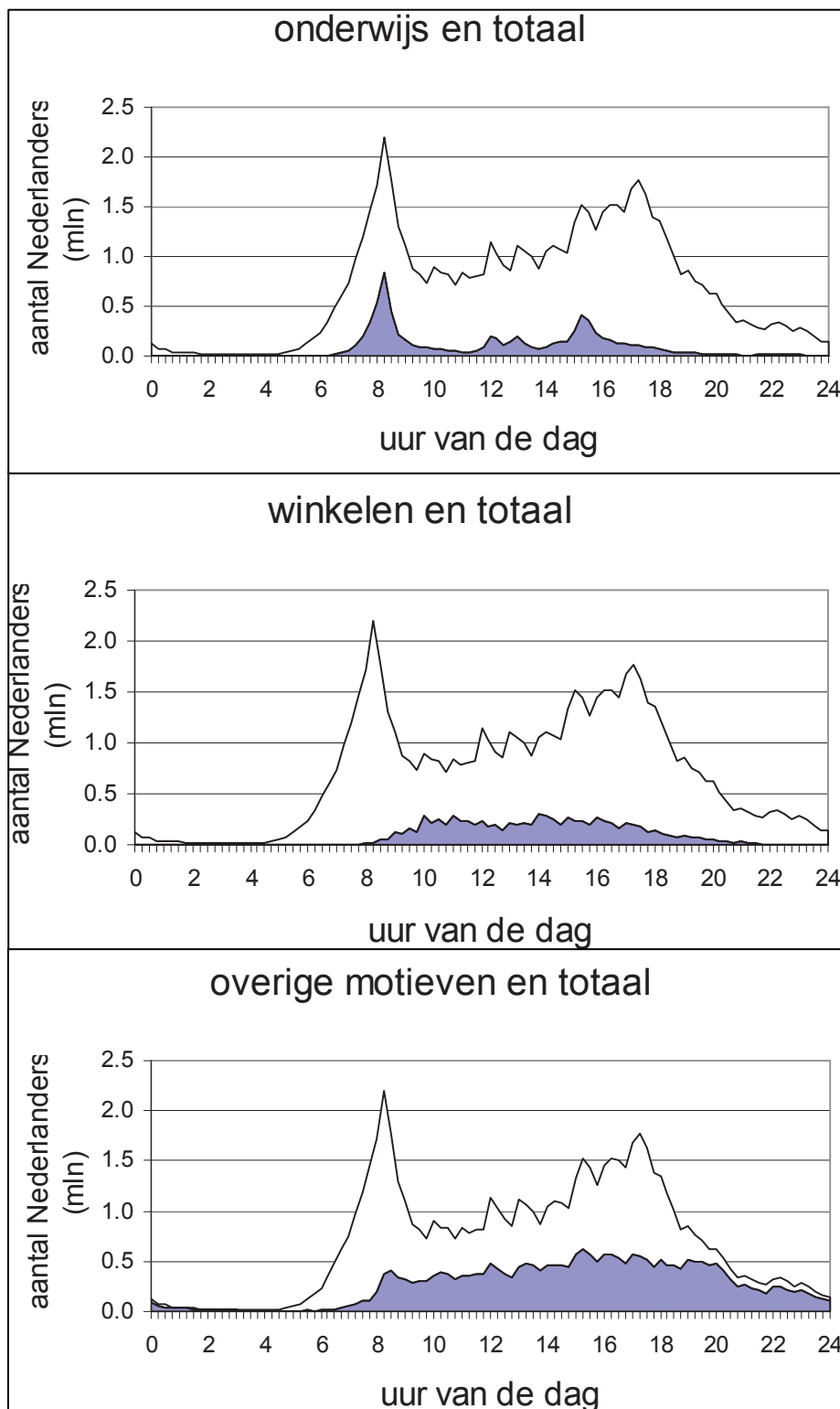
Het dagritme van de vervoervraag wordt gekenmerkt door duidelijke ochtend- en namiddagpieken en door zeer weinig vervoer 's nachts. De oorzaken zijn bekend: een vrij vast patroon van werk-, school-, winkelopeningstijden en andere regimes voor activiteiten (concerten, theaters). Doorgaans is er sprake van twee zeer duidelijke pieken: omstreeks 8 uur 's morgens en rond 17.00 uur 's

middags. Afhankelijk van de omstandigheden (binnenstedelijk/interlokaal, auto/ov, autosnelweg/trein) bestaan allerlei variaties in ligging en hoogte van deze twee pieken. Figuur 2.7 geeft het verloop van het aantal mensen dat gelijktijdig onderweg is door heel Nederland.

Doordat een verplaatsing een bepaalde tijdsduur heeft, is het meten van het tijdsverloop niet zo simpel als het lijkt. Diverse benaderingen vinden toepassing:

- uitgaan van het vertrektijdstip van de verplaatsing,
- uitgaan van het aankomstijdstip,
- het midden tussen aankomst- en vertrektijdstip nemen,
- voor elke periode nagaan hoeveel mensen onderweg zijn (gedaan in Figuur 2.7).





FIGUUR 2.7: TIJDSTIPPEN VAN ONDERWEG ZIJN OP EEN WERKDAG NAAR MOTIEF; BRON: MON-DATABESTAND 2006

Het verloop over de dag kan worden getypeerd door periodeaandelen op het totale vervoersvolume per 24 uur. De ochtendpiek in Nederland ligt tussen 7.45 uur en 8.45 uur en omvat 11% van het etmaalvolume. De avondpiek ligt tussen 16.30 uur en 17.30 uur en heeft een aandeel van 12%. De ochtendspits is al jaren zeer stabiel qua ligging en aandeel; de avondspits blijkt in de loop der tijd steeds breder te worden en het aandeel van het drukste avondspitsuur loopt langzaam terug. Het diepste dal is 's nachts om 4 uur. Tussen 0.00 uur en 5.00 uur wordt slechts 0,5% van alle dagelijkse verplaatsingen gemaakt.

De spitsvorming in de ochtend wordt vooral veroorzaakt door de activiteiten werken en onderwijs volgen. De avondpiek wordt vooral veroorzaakt door het motief werken. Echter ook de 'overige motieven' hebben in de avondspits hun grootste volume en dragen dan in gelijke mate aan het verkeer bij als het motief werk.

De totale omvang van het personenvervoer is het grootst in de avondpiek; reden waarom de vervoervraagberekeningen in de praktijk zich veelal beperken tot de ramingen voor de avondpiek. Daar staat echter tegenover dat de ochtendspits door de dominantie van de motieven werk en onderwijs sterk gericht zijn op bepaalde bestemmingen.

Het zakelijk motief is qua volume relatief klein. In de figuur zijn overigens de zogenaamde veelvuldige verplaatsingen (van de loodgieter, de postbode, de treinconductor), welke alle een zakelijk motief hebben, niet meegenomen. Als de veelvuldige verplaatsingen meegeteld worden, wordt het volume van het onderweg zijn voor zakelijk motief ongeveer verdubbeld.

Ook het weekritme, het verloop in de vervoervraag van dag tot dag, is sterk bepaald door de afwisseling in activiteiten. Op zaterdagen en zondagen wordt er veel minder gewerkt en nauwelijks naar school gegaan, maar worden juist veel sociaal-recreatieve activiteiten verricht. Qua aantal verplaatsingen is er een groot verschil tussen zondag en de rest van de week. Het aantal verplaatsingen op zondag is slechts 63% van dat op vrijdag, de meest actieve dag met ruim 3,17 verplaatsingen per persoon per dag. De beperkte activiteit op zondag wordt volledig gecompenseerd door zeer grote verplaatsingsafstanden op die dag. Tabel 2.7 geeft verplaatsingsaantallen per persoon per dag, gemiddelde verplaatsingslengte en totale prestatie per weekdag weer. De vervoerprestaties op dinsdagen en donderdagen representeren vrij aardig het wekelijks gemiddelde en worden daarom meestal als onderzoekdagen voor verplaatsingsenquêtes uitgekozen.

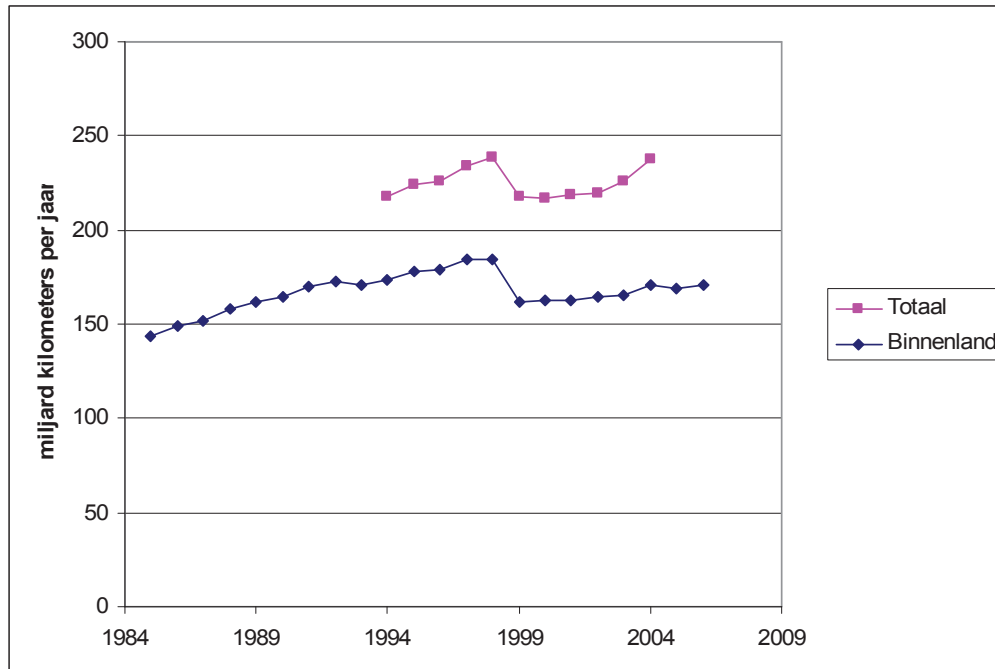
	totaal aantal verplaatsingen pppd	gemiddelde verplaatsingslengte (km)	totale prestatie (mln. personenkilometers)
zondag	2.01	17	567
maandag	3.02	11	515
dinsdag	3.14	10	514
woensdag	3.04	11	537
donderdag	3.16	11	541
vrijdag	3.17	11	568
zaterdag	3.08	12	604
totaal	2,94	11	549

TABEL 2.7: DAGINDEX TEN OPZICHTE VAN WEEKGEMIDDELDE PERSONENMOBILITEIT [BRON MON-DATABESTAND 2006]

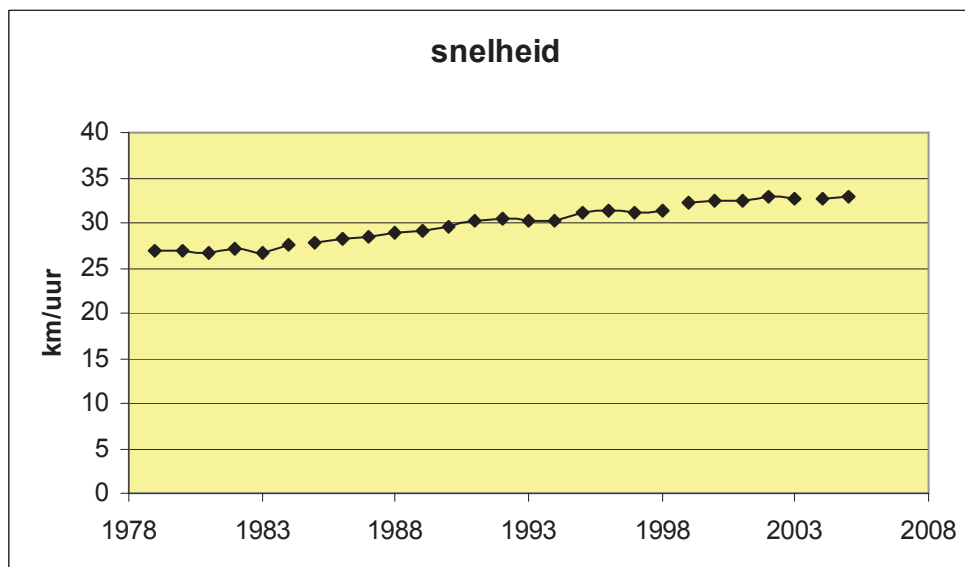
Het jaarritme in de vervoervraag hangt deels samen met seizoeninvloeden (licht, temperatuur) als ook met sociaal-economische processen (werkvakanties, schoolvakanties, seizoenarbeid) en daarvan afgeleide sociaal-culturele activiteiten. De dips die in de seizoenskrommes van de mobiliteit in Nederland zijn waar te nemen (krokusvakantie, zomervakantie), worden veelal meer dan gecompenseerd door verkeersprestaties van Nederlanders in het buitenland (die echter meestal niet in de statistieken verschijnen). Het gebruik van de vervoerwijzen is sterk seizoensafhankelijk: in de winter verruilen veel reizigers hun fiets voor het OV of de auto.

Ten slotte is er een lange termijn tijdverloop in de personenmobiliteit over de jaren heen. Al jaren is er een sterke groei in de omvang van de mobiliteit uitgedrukt in kilometers (zie Figuur 2.8). De meest opvallende afwijking van de stijgende trend zit rond 1999. Deze dip is echter het gevolg van een verandering in de onderzoeksmethode. De groei wordt vooral veroorzaakt door economische processen zoals sterk toenemende werkgelegenheid (de afgelopen jaren steeds 100.000 km extra per jaar) en sterke uithuisigheid van productieprocessen (veel zakelijk personenverkeer) door veranderende structuur van de productie. Economische groei leidt op zijn beurt tot hogere inkomens, hoger autobezit, suburbaan wonen, met een hogere kilometerproductie als gevolg. Op de onderstroom van circa 3% lange termijn mobiliteitsgroei zitten fluctuaties van toenemende en afnemende mobiliteit door de economische conjunctuur en crises (oliecrises, Golfoorlog). De jaren 1981, 1985 en 1989 gaven bijvoorbeeld alle een daling van de automobilititeit te zien ten opzichte van voorgaande jaren. Naast deze factoren die de vraagkant van vervoer bepalen zijn de groei in het aantal inwoners (volumefactor) en de verbetering van het transportsysteem (aanbodsfactor) van invloed. Dit laatste kan worden geïllustreerd met het verloop van de gemiddelde

verplaatsingssnelheid zoals die kan worden berekend met de totale verplaatsingsafstand en de totale reistijd in Nederland. Opvallend genoeg is hier geen trendbreuk rond 1999 te zien! Onder andere door de ontwikkeling van het snelwegennet is de gemiddelde snelheid per verplaatsing tussen 1979 en 2005 met 23% toegenomen.



FIGUUR 2.8: MOBILITEITSONTWIKKELING TUSSEN 1985 EN 2006



FIGUUR 2.9: ONTWIKKELING GEMIDDELDE VERPLAATSINGSSNELHEID TUSSEN 1979 EN 2005 (OVG, MON)

2.4 Verplaatsingskenmerken goederenvervoer

2.4.1 Kengetallen goederenvervoer

De omvang van goederenstromen kan op verschillende manieren worden uitgedrukt:

- in geladen, gelost of vervoerd gewicht, waarbij meestal de eenheid ton (1000 kg) wordt gebruikt,
- in geladen, gelost of vervoerd volume, waarbij meestal de eenheid kubieke meter (m³) wordt gebruikt,
- in de economische waarde, waarbij meestal een valuta-eenheid wordt gebruikt (in Nederland dus in euro's, internationaal vaak in dollars).

Om een goede indruk te krijgen van de omvang van een goederenstroom, is het vaak noodzakelijk verschillende meeteenheden in onderlinge samenhang te bezien. Een enkele goede eenheid waarmee alle goederen met elkaar vergeleken kunnen worden, is er niet, dit in tegenstelling tot het personenvervoer waar het begrip 'persoon' (reiziger) een eenduidige betekenis heeft.

Indien bij de beschrijving van de goederenstroom behalve de omvang van de stroom ook de afstand waarover de goederen worden vervoerd wordt opgenomen, wordt gesproken over de vervoerprestatie die wordt uitgedrukt in aantallen tonkilometers. Eén tonkilometer komt overeen met het vervoeren van één ton van een bepaald goed over een afstand van één kilometer.

Nadat goederen zijn geproduceerd, worden ze meestal nog een aantal keer vervoerd, geladen, gelost en opgeslagen voordat ze uiteindelijk worden gebruikt. Eén bepaald goed zal dus achtereenvolgens in verschillende voertuigen vervoerd en geregistreerd worden. Vandaar dat het aantal vervoerde tonnen in statistieken enkele malen groter is dan het aantal geproduceerde tonnen. Dit is vergelijkbaar met het personenvervoer, waar het aantal geregistreerde reizigers (op een dag in een bepaald gebied) ook enkele malen groter kan zijn dan het aantal inwoners in het betreffende gebied.

In 2005 bedroeg het totaal vervoerde gewicht 1633 miljoen ton. Dat komt neer op 100 ton per hoofd van de bevolking per jaar ofwel ruim 270 kilogram per hoofd van de bevolking per dag. De totale vervoerprestatie bedroeg in 2005 107 miljard tonkilometer. Dat komt voor deze vervoerwijzen neer op dagelijks per Nederlander 192 kg over 93 km. Onderstaande tabellen geven inzicht in het vervoerde volume en de vervoerprestatie van de verschillende vervoerwijzen. Hierbij moet worden opgemerkt dat net als bij de statistieken over het personenvervoer, de statistieken van het goederenvervoer ook hun beperkingen hebben. Zo worden niet alle vervoerwijzen even systematisch bijgehouden. Een ander voorbeeld is het onderscheid naar binnenlands vervoer. Opvallend is dat de groei in volume en vervoerprestatie redelijk gelijkmatig verlopen.

	1994 [mln ton]	Aandeel 1994 [%]	2005 [mln ton]	Aandeel 2005 [%]	Groei [%]
Weg	538	41	708	43	132
Binnenvaart	266	20	279	17	105
Spoor	18	1	29	2	164
Short sea	172	13	271	17	158
Deep sea	203	16	216	13	106
Pijpleiding	102	8	128	8	125
Luchtvaart	1	0	2	0	167
Totaal	1.299	100	1.633	100	126

TABEL 2.8: VERVOERD VOLUME PER VERVOERWIJZE [BRON: GOEDERENVERVOERMONITOR, 2006]

	1994 [mln tonkm]	Aandeel 1994 [%]	2005 [mln tonkm]	Aandeel 2005 [%]	Groei [%]
Weg	39.170	47	51.995	49	133
Binnenvaart	30.258	36	35.295	33	117
Spoor	2.806	3	5.027	5	179
Pijpleiding	11.765	14	14.829	14	126
Totaal	83.999	100	107.146	100	128

TABEL 2.9: VERVOERPRESTATIE OP NEDERLANDS GRONDGEBIED PER VERVOERWIJZE
[BRON: GOEDERENVERVOERMONITOR, 2006]

Vervoerprestatie	Miljoen tonkm	Aandeel
Totaal van, naar en binnen Nederland	174.542	
Waarvan binnen Nederland	93.161	53%
Waarvan binnenlands vervoer	43.380	25%
Gemiddelde afstand binnenlands vervoer (km)	70,6	

TABEL 2.10: VERVOERPRESTATIE NEDERLAND 2003 [BRON: STATLINE, CBS]

2.4.2 Onderscheid naar goederensoorten en afstanden

Hoewel theoretisch voor het vervoeren van goederen ook motieven kunnen worden gegeven, wordt bij de meeste indelingen uitgegaan van goederensoorten. Het belang van de verschillende goederensoorten in het vervoer is niet eenduidig vast te stellen omdat met verschillende maten gemeten kan worden. Uitgaande van het vervoerde gewicht komen we op de volgende rangorde:

goederensoort	gewicht *1000 ton	Aandeel
Landbouwproducten en levende dieren	69.948	5%
Voedingsproducten, veevoeder	129.749	9%
Vaste minerale brandstoffen	70.966	5%
Aardolie en aardolieproducten	331.998	22%
Ertsen en metaalresiduen	91.536	6%
Metalen en metalen halffabricaten	36.929	2%
Ruwe mineralen, bouwmaterialen	243.519	16%
Meststoffen	24.394	2%
Chemische producten	122.792	8%
Overige goederen en fabricaten	403.863	26%
Totaal	1.527.031	100%
Waarvan binnenlands vervoer	614.612	40%

TABEL 2.11: VERVOER VAN, NAAR EN BINNEN NEDERLAND 2003 [BRON: STATLINE, CBS]

De goederensoort 'ruwe mineralen', voor het gemak ook wel 'zand en grind' genoemd, blijkt van enorme betekenis in het vervoer te zijn. Als we naar de waarde van goederen zouden kijken zou de groep consumentengoederen de belangrijkste zijn. Kijkend naar de vervoerprestatie, blijken de verschillen minder groot: 'zand en grind' wordt weliswaar in grote hoeveelheden vervoerd, maar over relatief beperkte afstanden.

De vervoerafstanden hebben te maken met de kenmerken van goederen: naarmate een goed duurder is (en dus schaarser), zal de transportafstand groter kunnen worden. Echter, ook de ruimtelijke ordening is van groot belang: omdat het Duitse Ruhrgebied nog steeds veel staalindustrie kent en erts veelal in de Rotterdamse haven worden afgeleverd, zijn de transportafstanden van deze groep relatief groot.

2.4.3 Ruimtelijk spreidingspatroon goederenverplaatsingen

Zoals bij het personenvervoer wordt bij het goederenvervoer onderscheid gemaakt naar intern, extern en doorgaand vervoer in/door een bepaald gebied. Indien het studiegebied Nederland is, wordt een aangepaste terminologie gebruikt.

Nationaal vervoer is 'intern' vervoer, met een plaats van lading én lossing binnen Nederland. Uitvoer is vervoer met een plaats van lading binnen Nederland en een plaats van lossing daarbuiten, voor invoer geldt het omgekeerde. Bij doorvoer worden goederen weliswaar over Nederlands grondgebied vervoerd, maar worden geen goederen geladen en gelost. Bij doorvoer met overlading gebeurt dat laatste wel, zoals in een (lucht)haven. Tenslotte is het nog mogelijk dat goederen via een 'entrepot' worden vervoerd, een overslaglocatie die geografisch wel, maar douanetechnisch niet in Nederland ligt, zoals delen van de Luchthaven Schiphol en de zeehavens. Invoer, het inkomende deel van doorvoer met overlading en het inkomende deel van de entropotinvoer vormen samen de aanvoer. Uitvoer, het uitgaande deel van doorvoer en entropotuitvoer vormen samen de afvoer.

Evenals bij het personenvervoer, speelt het goederenvervoer zich vooral over de kortere afstanden af. Dat wil zeggen dat de gemiddelde verplaatsingsafstand relatief beperkt is. Niettemin vindt een belangrijk deel van het goederenvervoer over (zeer) grote afstanden plaats. De gemiddelde verplaatsingsafstand van goederen is daarom groter en de verdeling 'platter' (relatief meer lange-afstandsverplaatsingen dan bij het personenvervoer). Belangrijke internationale goederenvervoerrassen hebben de 'Mainport' Rotterdamse haven als overslaggebied. Vanuit dat gebied lopen de zogenaamde 'achterlandverbindingen' naar Zuid- en Midden-Duitsland (o.a. Ruhrgebied) en naar België (Antwerpen) en Frankrijk.

Kanttekening:

Naast de Rotterdamse haven wordt ook Schiphol een mainport genoemd (een Nederlands begrip overigens dat men in het buitenland nauwelijks kent). Beide mainports zijn van belang voor de economie, maar de goederenstromen van en naar Schiphol zijn veel minder omvangrijk (gemeten in tonnen) dan die naar Rotterdam.

Kijken we ten slotte naar de verkeersprestatie dan valt op dat het wegvervoer zeer dominant is. Dit grote verschil tussen de vervoerwijzen is eenvoudig te verklaren door het grote verschil in laadvermogen. Verder valt op dat in tegenstelling tot de ontwikkelingen in het vervoer (volume en prestatie) hier wel sprake is van een sterke groei. Dat geldt met name voor de dominante vervoerwijze: het wegvervoer. Ook hier spelen onderzoekstechnische zaken een rol. In de recente statistieken worden ook lege ritten geregistreerd. Tweede element is de enorme toename van het gebruik van lichte bestelauto's: dit is in deze periode met een factor 5 toegenomen en vormt in 2005 bijna 2/3 van de verkeersprestatie over de weg. Veranderde logistieke concepten en het gebruik van internet zijn hiervoor verklarende ontwikkelingen. Op zich is het interessant te constateren dat de ontwikkelingen in het goederenvervoer aan de ene kant gekenmerkt worden door schaalvergroting, kijk bijvoorbeeld naar containerschepen, en aan de andere kant dus door het gebruik van kleine en flexibele vervoertechnieken zoals lichte bestelauto's.

	1994 [mln vtgkm]	Aandeel 1994 [%]	2005 [mln vtgkm]	Aandeel 2005 [%]	Groei [%]
Weg	7.076	99	19.525	100	276
Binnenvaart	50	1	57	0	114
Spoor	7	0	10	0	143
Totaal	7.133	100	19.592	100	275

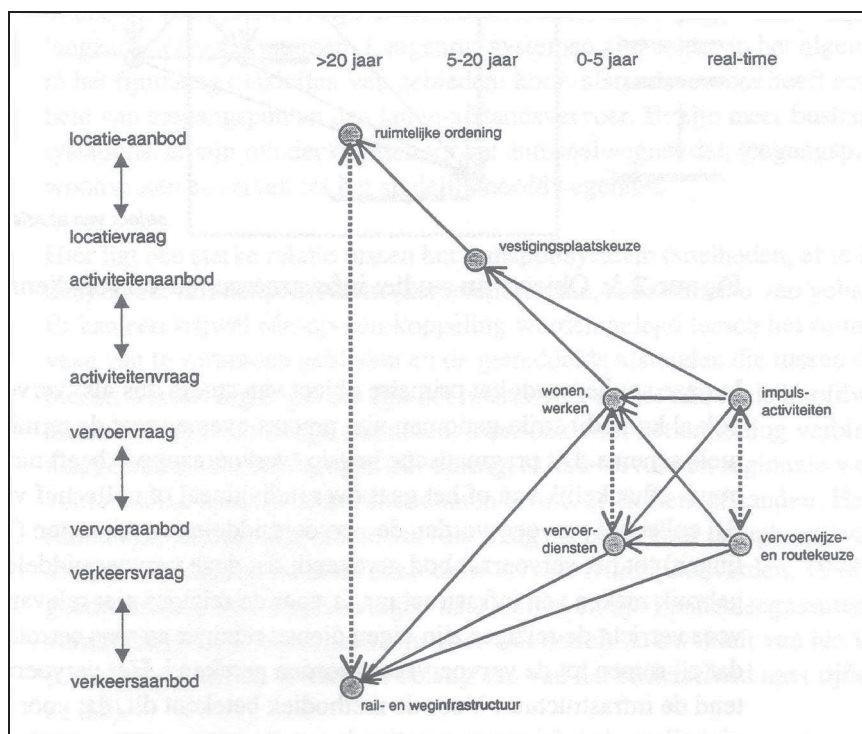
TABEL 2.12: VERKEERSPRESTATIE OP NEDERLANDS GRONDGEBIED PER VERVOERWIJZE
[BRON: GOEDERENVERVOERMONITOR [BUS, 2006]]

3 VERPLAATSIINGSGEDRAG EN KEUZEN

3.1 Lagen en markten

Het voorgaande hoofdstuk beschreef het verplaatsingspatroon in karakteristieken van verplaatsingen en tegelijkertijd de vervoerprestatie (personenkilometers of tonkilometers). In sommige overzichten is ook de verkeersprestatie aanbod gekomen (voertuigkilometers). Al deze karakteristieken zijn het resultaat van keuzen van individuen en bedrijven. In dit hoofdstuk wordt nader op dit keuzegedrag ingegaan. Als eerste wordt het lagenmodel gebruikt om met name de verschillen in tijdsdimensie te illustreren. Vervolgens wordt nader ingegaan op de keuzen voor personen- en goederenvervoer.

Verplaatsingenpatronen kunnen beschouwd worden als de vervoervraag en de vervoerdiensten als het vervoeraanbod welke samen het vervoersysteem vormen. Uiteindelijk gaat het hierbij om de ordening in ruimte en tijd van de vraag- en aanbodelementen. Tegelijk kunnen de vervoerdiensten beschouwd worden als de verkeersvraag en de verkeersnetwerken als het verkeersaanbod welke samen het verkeerssysteem vormen. De verkeersvraag is een ordening in ruimte en tijd van de 'verkeersvraagelementen', d.w.z. de vervoermiddelen die ook kortweg als verkeer aangeduid kunnen worden. Op analoge wijze zijn de verkeersnetwerken te beschouwen als een ordening in ruimte en tijd van de 'verkeersaanbodelementen', namelijk de infrastructuurelementen. In Figuur 3.1 staat de tijdshorizon van de verschillende elementen weergegeven.



FIGUUR 3.1 TIJDSHORIZON [BRON: EGETER ET AL. 2002]

De getrokken pijlen in het figuur geven aan hoe korte-termijnprocessen zich richten naar lange-termijnprocessen. Omgekeerd moeten, om lange-termijnprocessen goed te kunnen plannen, korte-termijnprocessen worden geprognosticeerd; de 'richting' van prognoses is dus tegengesteld aan de getrokken pijlen. Door de verticale gestippelde pijlen is aangegeven, dat processen met ongeveer dezelfde tijdshorizon een sterke onderlinge interactie vertonen en vaak ook geïntegreerd gepland worden. Aangegeven zijn de wisselwerking tussen ruimtelijke ordening en infrastructuurplanning, de wisselwerking tussen woon-werkrelaties en de planning van vervoerdiensten, alsmede de wisselwerking tussen vervoerwijze- en routekeuze en het ondernemen van impulsactiviteiten.

Zowel binnen het vervoersysteem als binnen het verkeerssysteem is er een wisselwerking tussen vraag en aanbod, welke respectievelijk aangeduid worden als de vervoermarkt en de verkeersmarkt. De afstemming tussen vraag en aanbod kan tot stand komen op basis van

marktwerking in de enge betekenis van het woord. Het begrip markt kan hier echter ook in een bredere context gezien worden. Immers zelfs in een planeconomie zal getracht worden vervoervraag en vervoeraanbod, respectievelijk verkeersvraag en verkeersaanbod op elkaar af te stemmen. In het meest extreme geval komt deze afstemming dan niet tot stand op basis van individuele beslissingen, doch op basis van collectieve beslissingen. Voor zowel de vervoermarkt als de verkeersmarkt zijn de volgende kentallen bepalend: kwaliteit, prijs, capaciteit en intensiteit. De vervoerkwaliteit geeft aan in hoeverre het vervoeraanbod voldoet aan de door de vervoervrager gestelde eisen. De vervoerprijs is de prijs die door de aanbieder van vervoerdiensten aan de vervoervrager in rekening gebracht wordt.

Bij de verkeersprijs gaat het om de prijs die voor het gebruik van de verkeersinfrastructuur betaald moet worden. Bij het gebruik van weginfrastructuur is er overigens nauwelijks sprake van een verband tussen prijs en kwaliteit. De hoogte van de belasting die betaald moet worden om een auto te mogen gebruiken staat los van de kwaliteit van het verkeersaanbod. Accijns op brandstof, BPM en houderschapsbelasting hebben vooral een relatie met de zwaarte van het voertuig. De achtergrond hiervan is dat er tot nu toe vanuit gegaan wordt dat het beschikbaar stellen van verkeersinfrastructuur het algemeen nut dient, waarvoor niet specifiek betaald hoeft te worden. Een uitzondering hierop vormen de tolwegen en de eventueel toekomstige betaalstroken. Een andere uitzondering vormen de parkeervoorzieningen waarvoor betaald moet worden. Dit impliceert dat een individuele weggebruiker zich bij een routekeuze tussen herkomst en bestemming zich in hoofdzaak zal laten leiden door een streven naar minimalisering van de verplaatsingstijd. Met de huidige ideeën over Rekening Rijden of Verzekeren per kilometer kan hier verandering in komen.

Deze benadering geldt in veel mindere mate voor het gebruik van (rail)infrastructuur. Het belangrijkste voorbeeld daarvan vormen de spoorwegen, waar sinds enkele jaren de exploitatie van de railinfrastructuur en het bieden van vervoerdiensten gescheiden zijn. Tegenwoordig zal de aanbieder van treindiensten voor het gebruik van railinfrastructuur moeten betalen. Indien de exploitatie van voertuigen en infrastructuur in één hand zijn is de afstemming tussen verkeersvraag en verkeersaanbod een interne zaak van het betreffende bedrijf. Dit is bijvoorbeeld (tot nu) nog het geval bij de metronetten van Amsterdam en Rotterdam.

De vervoercapaciteit, d.w.z. de som van de capaciteiten van de ingezette voertuigen, geeft aan hoeveel personen of goederen op een bepaalde relatie met een bepaald vervoersysteem vervoerd kunnen worden. De vervoerintensiteit geeft aan hoeveel personen of goederen op de betreffende relatie daadwerkelijk met dit vervoersysteem vervoerd worden.

De verkeerscapaciteit geeft aan hoeveel voertuigen van een bepaald vervoersysteem op een gegeven verbinding binnen het betreffende verkeerssysteem verwerkt kunnen worden. De verkeersintensiteit geeft het werkelijk aantal te verwerken aantal voertuigen aan.

3.2 Keuzes maken

Personenvervoer

Het maken van verplaatsingen is een uitkomst van individueel keuzegedrag. Een individu kiest of hij wel of niet het huis uitgaat om één of meer activiteiten uit te voeren, waar hij dat gaat doen, hoe hij daar naar toe gaat, etc. Dit hoeft niet te betekenen dat hij al deze keuzes dagelijks maakt, maar op één of ander moment neemt hij een bewuste beslissing, die daarna vaak een gewoonte wordt.

We onderscheiden vijf verplaatsingskeuzes waarvan we er voor het gemak (modellering) van uitgaan dat ze tot elkaar in een hiërarchie staan:

- activiteitskeuze: wel of niet het huis uit voor welke activiteiten elders (bijvoorbeeld winkelen),
- bestemmingskeuze: waar activiteit gaan uitoefenen (binnenstad, buurgemeente),
- vervoerwijzekeuze: hoe daar naar toe en terug (te voet, fiets),
- tijdstipkeuze: wanneer onderweg gaan,
- routekeuze: welke route kiezen in het wegen- of OV-net.

De hiërarchie houdt in dat de verplaatsingskenmerken op de lagere trap van invloed zijn op de keuze in een hogere trap. Voorbeeld: de gekozen route bepaalt de benodigde reistijd, dit heeft (in geval van congestie) invloed op het meest gunstige moment om te reizen. Het tijdstip van reizen bepaalt (soms) het tarief bij het openbaar vervoer en de reistijd (door andere OV-frequentie of

congestie); dat kan weer van toepassing zijn op de vervoerwijzekeuze. Reistijd en reiskosten van het vervoer bepalen mede waar activiteiten het best kunnen worden gedaan.

Kanttekening:

Let erop dat de veronderstelde hiërarchie vooral bedoeld is om het modelleren te vergemakkelijken. In de praktijk komen ook andere beslisvolgorden, 'getrapte' keuzes, 'gekoppelde' keuzes en 'ad-hoc' keuzes voor. Voorbeeld van andere, getrapte beslisvolgorde: globale bestemmingskeuze (we gaan naar de stad om te winkelen), vervolgens de tijdstipkeuze, vervolgens de vervoerwijzekeuze en dan (in afhankelijkheid van de voorgaande keuzes) de uiteindelijke bestemmingskeuze. Voorbeeld van door gewoontevorming gekoppelde keuzes: altijd met de auto naar de supermarkt in winkelcentrum X. Bij een 'ad-hoc' keuze wordt tijdens de verplaatsing nog gekozen, bijvoorbeeld voor een andere route of zelfs voor een andere bestemming (dan aanvankelijk de bedoeling was).

Kenmerkend van al de keuzes is dat er alternatieven zijn. Dit zijn elkaar wederzijds uitsluitende mogelijkheden waarvan je er maar één tegelijkertijd kunt kiezen. Het type alternatief waar het bij verplaatsingen steeds om gaat wordt daarom wel discreet genoemd (óf-óf, niet én-én).

Goederenvervoer

Het verplaatsen van goederen is een uitkomst van het keuzegedrag van verladers (verzenders) en ontvangers. Verder kan de vervoerder (degene die het vervoer verricht) bij bepaalde keuzes een rol spelen.

De verplaatsingskeuzes kunnen als volgt worden gekarakteriseerd:

- activiteitskeuze; wil ik wel of niet goederen verzenden (verlader), of goederen ontvangen (ontvanger)
- bestemmingskeuze; waar naartoe worden goederen vervoerd (verlader), waarvandaan haal ik mijn goederen (ontvanger)
- keuze logistieke vorm; sla ik de goederen onderweg nog ergens op, doe ik er onderweg nog iets mee (verlader, ontvanger, vervoerder)
- keuze laadeenheid: container, rolcontainer, pallet, etc. (verlader, ontvanger, vervoerder)
- vervoerwijzekeuze; welke vervoerwijze(n) worden ingezet voor de verplaatsing van de goederen(vervoerder)
- tijdstipkeuze; wanneer de goederen worden 'geladen' (verlader), wanneer de goederen worden 'gelost' (ontvanger), wanneer de goederen daadwerkelijk worden verplaatst (vervoerder)
- routekeuze; welke route(s) worden door de vervoerwijze(n) gevolgd (vervoerder).

Ook hier is een zekere hiërarchie te onderkennen, maar heel belangrijk is toch ook de onderlinge wisselwerking tussen de verschillende keuzes.

De verschillende actoren die aan het vervoerproces deelnemen hebben hun eigen 'keuze'-gebied. Zo zal het een verlader of vervoerder strikt genomen niet veel uitmaken hoe en via welke route een vervoerder de spullen vervoert, als de levering maar tegen de vooraf afgesproken condities gebeurt (op tijd, in orde en voor een bepaalde prijs).

Nuancering keuzegedrag

Het vervoerkundig keuzeprocess beschrijft de keuzen die de individuele vervoerconsument voor en tijdens een verplaatsing (al dan niet bewust) maakt. De beslissingen met betrekking tot al deze keuzen wordt samengevat met de term 'verplaatsingsgedrag'.

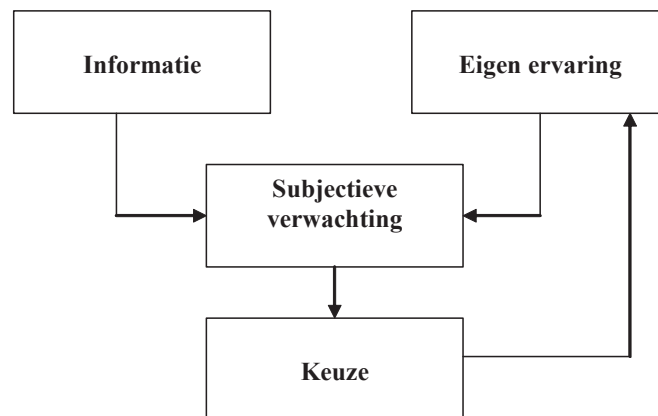
Een mens is geen computer: geen mens zal voor iedere keuze opnieuw een volledig rationeel keuzeprocess doorlopen. Het is menselijkerwijze onmogelijk om alle voor deze keuze relevante informatie te kennen. Bovendien zou je al deze informatie ook nog eens moeten verwerken. D.w.z., je zou dan vóór elke verplaatsing eerst een vervoermodel moeten draaien.

Keuzes worden gebaseerd op een subjectieve verwachting van de kwaliteit van de alternatieven in kwestie; dit is een persoonlijke perceptie (vooraf aan het maken van de keuze) van de sterke en zwakke punten van de verschillende alternatieven. Deze subjectieve verwachting wordt ontleend aan twee principieel verschillende bronnen, of een combinatie ervan:

- eigen ervaringen die relevant zijn met betrekking tot de te maken keuze;
 - informatie die de reiziger heeft bereikt over de verschillende alternatieven.
- Een eenmaal opgebouwde subjectieve verwachting zal door nieuwe ervaringen en informatie (langzamerhand) veranderen.

De subjectieve verwachting zal bij een alternatief waar men veel ervaring mee heeft voornamelijk bepaald worden door deze eigen ervaringen en daarom vrij goed overeenkomen met de werkelijkheid. Bij weinig gebruikte alternatieven zal de subjectieve verwachting echter hoofdzakelijk bepaald worden door ingewonnen informatie. Deze informatie kan zeer verschillend van aard zijn. In het beste geval neemt men een bepaalde vorm van objectieve informatie tot zich (bijvoorbeeld: kijken in het spoorboekje). Dit zal men echter pas doen als men al een zeker vertrouwen heeft in de kwaliteit van het alternatief. Er kan ook sprake zijn van desinformatie: men baseert zijn verwachtingspatroon op borreltafelpraat, gecombineerd met een eigen ervaring uit lang vervlogen dagen; de relatie met de werkelijkheid is dan vaak ver te zoeken. Ook reclame is een vorm van informatie. Reclame heeft als nadeel dat het vaak geen objectief beeld geeft; het is echter vaak de enige mogelijkheid om invloed uit te oefenen op de subjectieve verwachting van een alternatief dat iemand zelden of nooit kiest.

Het gehele vervoerkundig keuzeproces is dus een cyclisch proces: de keuze wordt bepaald op basis van de subjectieve verwachting van de kwaliteit van de alternatieven. Per alternatief is deze gevormd door een combinatie van eigen ervaringen en andere informatie. Iedere keuze heeft nieuwe ervaringen tot gevolg, die weer invloed hebben op de subjectieve verwachting.



FIGUUR 3.2: DE KEUZECYCLUS

Voor het doorgronden van allerlei vormen van verplaatsingsgedrag is het van groot belang om deze sterk psychologische component te onderkennen. Het bovenstaande mechanisme leidt namelijk veelal tot een sterke mate van gewoontevorming. De subjectieve verwachting van een alternatief dat zelden of nooit gekozen wordt, zal immers nauwelijks veranderen (aannemende dat geen geheel nieuwe informatiebronnen worden aangeboord). Ook van het alternatief dat meestal wel gekozen wordt zal de subjectieve verwachting nauwelijks veranderen, omdat de nieuwe ervaringen het eerder opgebouwde beeld slechts zullen bevestigen. Dit mechanisme is bijvoorbeeld duidelijk waar te nemen bij zowel verstokte autogebruikers als verstokte openbaarvervoergebruikers.

4 BEREIKBAARHEID EN LOCATIEKEUZE

4.1 Samenhang tussen bestemmingen: afstemming van functies

In hoeverre een locatie voor stedelijk gebruik geschikt is, hangt mede af van relationele invloeden. Deze relationele invloeden zijn tweeledig:

1. de relaties die gelegd kunnen worden tussen het beoogde grondgebruik van de locatie en bestemmingen en voorzieningen buiten de locatie,
2. de invloeden die van buiten op de locatie van kracht zijn en de geschiktheid positief of negatief beïnvloeden.

In hoeverre relationele invloeden relevant zijn en op welke wijze de mate van geschiktheid wordt beïnvloed hangt af van de beoogde bestemming. Aan de hand van een voorbeeld zal dit worden verduidelijkt.

VOORBEELD 4.1

Voor een nieuwe woonwijk is een goede bereikbaarheid veelal belangrijk. De mogelijkheden voor aansluiting op bestaande infrastructuur en de bijbehorende reistijd zijn daarom relevant. Ook zijn er bestemmingen die goed vanuit de wijk bereikbaar moeten zijn, b.v. het stadscentrum, een station, een bedrijventerrein, onderwijsvoorzieningen, andere wijken, etc. De onderlinge bereikbaarheid tussen enerzijds de nieuwe wijk en anderzijds de relevante plaatsen van herkomst en bestemming bepalen mede de geschiktheid van de locatie. Samenvattend gaat het hier om vervoersrelaties.

Maar de locatie voor de nieuwe woonwijk kan voor wat betreft geluid en/of stank binnen de invloedssfeer liggen van een autosnelweg, een spoorlijn, een vuilverbrandingsinstallatie e.d. Hierdoor wordt de mate van geschiktheid negatief bepaald.

Het zal duidelijk zijn dat voor zowel de vervoersrelaties als voor de overige ruimtelijke relaties een groot aantal verschillende invloeden kan worden onderscheiden. Voor de vervoersrelaties geldt daarbij tevens dat

1. de herkomsten/bestemmingen verspreid liggen over de stad/regio en
2. dat de invloed in veel gevallen mede afhankelijk is van de omvang van, bijvoorbeeld, het aantal bewoners, arbeidsplaatsen, vloeroppervlakte, etc..

De ruimtelijke spreiding van herkomsten/bestemmingen en de omvang hiervan kan tot uitdrukking gebracht worden in een score voor de mate van geschiktheid van een locatie. Deze score is een potentiaalwaarde met de algemene notatie:

$$P_i = \sum_{j=1}^m \frac{M_j}{d_{ij}} \quad \text{VERGELIJKING 4.1}$$

- P_i = de potentiaalwaarde voor locatie i
 M_j = de massa, uitgedrukt in bewoners, arbeidsplaatsen, vloeroppervlakte, etc. voor herkomst/bestemming van locatie j
 d_{ij} = de afstand, geografisch of via een netwerk, tussen i en j.

In veel gevallen wordt over het onderzoeksgebied, waarbinnen de locaties zijn gelegen, een raster gelegd. De locatie die voor stedelijke uitbreiding wordt beoogd, kan dan opgedeeld worden in meerdere deelgebieden i_x . De algemene notatie is in dat geval:

$$P_i = \sum_{i_x=1}^n \sum_{j=1}^m \frac{M_j}{d_{i_x j}} \quad \text{VERGELIJKING 4.2}$$

Er kan ook onderscheid worden gemaakt in verschillende soorten relaties, b.v. woon-woonrelaties, woon-werkrelaties, woon-voorzieningenrelaties. Per relatie verschilt dan de massa M . In dit geval bestaat de mogelijkheid de potentiaalwaarde uit te drukken in een (gewogen) sommatie met de algemene notatie:

$$P_i = \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^m \sum_{l=1}^o \frac{M_j^k}{d_{i,j}^k}$$

VERGELIJKING 4.3

De essentie van de analyse van de relaties tussen een beoogde stadsuitbreiding en andere locaties/gebieden bestaat daaruit dat de positieve of negatieve waarde van de relatie wordt uitgedrukt als kenmerk van de beoogde uitbreidingslocatie.

Een bijzonder geval is de analyse van een punt x op een schakel in plaats van een locatie i , bijvoorbeeld om te bepalen of op die plaats een nieuwe goed bereikbare locatie kan worden ontwikkeld. Aandachtspunt is dan dat afhankelijk van de positie de route waarmee d_{xj} wordt bepaald kan wijzigen.

4.2 Bereikbaarheid en bereikbaarheidsmodellen

4.2.1 Bereikbaarheid

In de ruimtelijke ordening, verkeerskunde en de distributie-planologie worden verschillende definities voor het begrip bereikbaarheid gebruikt.

- Accessibility is 'the opportunity for interaction'.
- Accessibility is 'the ease with which people can reach distant but necessary services'.
- Accessibility is 'the ability of people to reach destinations at which they can carry out a given activity'.
- 'Bereikbaarheid is de combinatie van snelheid, voordeligheid en gemak waarmee verplaatsingen worden gemaakt'.
- Hilberts en Verroen (1993) zeggen in aansluiting hierop dat bereikbaarheid wordt bepaald door de hoeveelheid tijd, geld en moeite die vereist is om een locatie te bereiken.

De bereikbaarheid van een locatie binnen een onderzoeksgebied, b.v. een land of regio, wordt bepaald door de geografische ligging ten opzichte van steden en dorpen, alsmede door de ligging binnen het infrastructurele netwerk. Bereikbaarheid is een belangrijke indicator om de positie van een stad of locatie ten opzichte van andere steden of locaties te beoordelen. Voor tal van economische activiteiten en maatschappelijke functies is een goede bereikbaarheid van groot belang. Bereikbaarheid is daarmee een belangrijke vestigingsfactor.

Bereikbaarheid heeft een tweeledig belang:

1. veel voorzieningen moeten goed bereikbaar zijn voor de gebruikers. De reistijd voor de gebruikers wordt daardoor bekort,
2. veel economische activiteiten en maatschappelijke functies vereisen een minimaal draagvlak om te kunnen functioneren. In veel gevallen zal een groter draagvlak de exploitatie van een voorziening of het uitoefenen van een commerciële activiteit ten goede komen. Een groot draagvlak kan mede worden bereikt door een gunstige geografische ligging en een strategische positie binnen een infrastructureel netwerk.

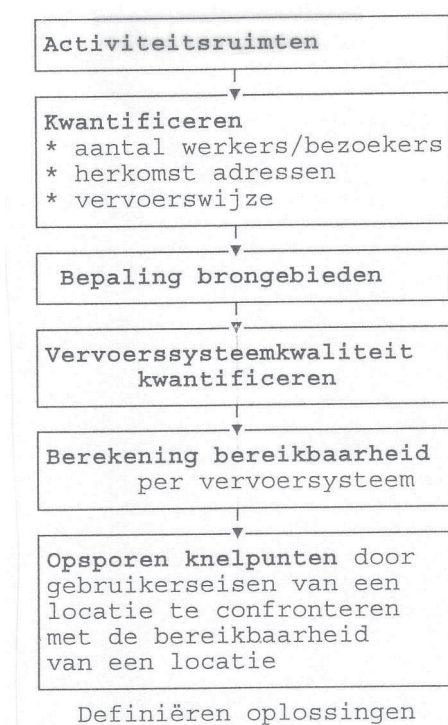
Bereikbaarheid is zowel een verkeerskundig als een sociaal-geografisch begrip. Omdat beide wetenschappen een verschillende benadering hebben, bestaat een verschil in aard van verkeerskundige en sociaal-geografische bereikbaarheidsmodellen. Deze verschillen zijn in Tabel 4.1 samengevat.

	Verkeerskunde	Sociale geografie
Doel	Verbeteren van het verkeerssysteem.	Beschrijven en voorspellen van sociale processen in de ruimte
Wat staat vast?	De bevolkingsspreiding en het ruimtelijk gedrag.	Het verkeerssysteem
Wat is variabel?	Het verkeerssysteem	De bevolkingsspreiding en het ruimtelijk gedrag
Georiënteerdheid	Vraag-georiënteerd	Aanbod-georiënteerd
Soort modellen	• Modellen gebaseerd op empirische vraag • Modellen gebaseerd op uit de theorie berekende vraag	• Volledig aanbod-georiënteerde modellen • Deels aanbod-georiënteerde modellen • Modellen gebaseerd op uit de theorie berekende vraag

TABEL 4.1 HET VERSCHIL IN DE AARD VAN VERKEERSKUNDIGE EN SOCIAAL-GEOGRAFISCHE BEREIKBAARHEIDSMODELLEN.

4.2.2 Verkeerskundige actuele bereikbaarheidsmodellen

Modellen die uitgaan van empirische data over de vraag zijn zeer geschikt voor praktische doeleinden van een laag schaalniveau. De modellen vergen echter een grote dataverzameling die via kostbare enquêtes, waarnemingen en interviews moeten worden vergaard. Hakkesteegt definieert de in Figuur 4.1 weergegeven methode ter bepaling van de bereikbaarheid van een locatie [Hakkesteegt, 1991].



FIGUUR 4.1 EMPIRISCH BEREIKBAARHEIDSMODEL [HAKKESTEEGT, 1991]

Het opstellen van een empirisch model, zoals door Hakkesteegt gedefinieerd, vergt een studie naar het belang van de verschillende functies in een stad. Vervolgens moeten per afzonderlijke functie de verplaatsingsbehoeften worden bepaald, alsmede een analyse naar herkomst van de gebruikers. Dit vereist een uitgebreide dataverzameling die kostbaar en tijdrovend is. Het is daarom beter de vraag naar ruimtelijke verkeersvoorzieningen te voorspellen aan de hand van een ruimtelijke interactietheorie.

In de actuele verkeersmodellen wordt bereikbaarheid berekend als functie van de afstand/reistijd vanuit het herkomstgebied en het aantal bereikbare opportuniteiten (bijv. arbeidsplaatsen). Het aantal bereikbare opportuniteiten wordt vastgesteld binnen een maximale reistijd met een bepaalde

vervoerwijze. Voor een woongebied kan bijvoorbeeld het aantal bereikbare arbeidsplaatsen binnen een maximale woon-werkreistijd van 45 minuten worden bepaald. In formulevorm is dit:

$$B_{iv} = \sum_{j=1}^m O_j \cdot F(T_{ijv}) \quad \text{VERGELIJKING 4.4}$$

Waarin:

- B_{iv} = bereikbaarheid locatie i met vervoerwijze v ;
 O_j = aantal opportuniteiten in locatie j (bijv. arbeidsplaatsen);
 $F(T_{ijv})$ = afstandgevoeligheidsfunctie;
 T_{ijv} = afstand/reistijd van locatie j naar i met vervoerwijze v .

De afstandgevoeligheidsfunctie geeft weer wat de kans is op verplaatsing bij een bepaalde weerstand in kostenminuten [Hilbers en Verroen, 1993]. De bereikbaarheid van een locatie neemt af wanneer de verplaatsingsweerstand toeneemt en dit is het geval wanneer de afstand/reistijd toeneemt.

De vorm van de afstandsfunctie heeft men bepaald op basis van de gravitatie-theorie, en later ook op basis van entropie-maximalisatie.

De volgende vormen zijn uit de literatuur bekend:

$$\begin{aligned}
 F(T_{ijv}) &= \frac{1}{T_{ijv}} \\
 F(T_{ijv}) &= \frac{1}{T_{ijv}^2} \\
 F(T_{ijv}) &= \exp(-c \cdot \ln^2(T_{ijv} + 1))
 \end{aligned}$$

Voor de verschillende verplaatsingsmotieven is ook uit empirische waarnemingen een algemene afstandsfunctie per verplaatsingsmotief geconstrueerd. De afstandgevoeligheidscurven geven weer wat de kans is op verplaatsing bij een bepaalde weerstand in kostenminuten [Hilbers en Verroen, 1993]. Gebleken is dat een log-logistische formule zoals hieronder weergegeven het beste de empirische data beschrijft:

$$F(T_{ijv}) = \frac{Max}{1 + \exp(A + B \cdot \ln(T_{ijv}))} \quad \text{VERGELIJKING 4.5}$$

Voor de verplaatsingen met een zakelijk motief vonden Hilbers en Verroen voor de parameter a de waarde -4,069 en voor b de waarde 2,205.

4.3 Basisbeginselen van de planning van openbare voorzieningen

4.3.1 Indeling van openbare voorzieningen

Bij het vaststellen van de omvang en locatie van openbare voorzieningen dient primair de geografische begrenzing van het gebied te worden bepaald waarbinnen de potentiële gebruikers wonen. In het onderstaande overzicht zijn de verschillende typen voorzieningen en de bijbehorende schaalniveaus aangegeven.

Schaal	Voorzieningen		
	Privaat	Publiek/Privaat	Publiek
Buurt	• buurtwinkel		
Wijk	• winkelcentrum • cafés	• wijkcentrum • gezondheidscentrum • sportcomplexen • kerken • verzorgingstehuis	• postkantoor • scholen • politie • brandweer
Gemeente	• bioscopen • theaters • warenhuizen	• ziekenhuis • huishoudelijke afvalverwerking	• afvalwaterzuivering • scholengemeenschap
Regio	• grootschalige detailhandel	• industrieel / huishoudelijke afvalverwerking	• waterwinning • elektriciteitsvoorziening

TABEL 4.2 VOORZIENINGEN PER SCHAALNIVEAU.

4.3.2 Planningsproces voor locatiekeuze

Het planningsproces voor de locatiekeuze van openbare voorzieningen omvat de volgende stappen:

- probleemdefinitie
- formulering van doelstellingen
- ontwikkeling van (locatie-) alternatieven
- evaluatie van alternatieven
- selectie van de locatie
- implementatie

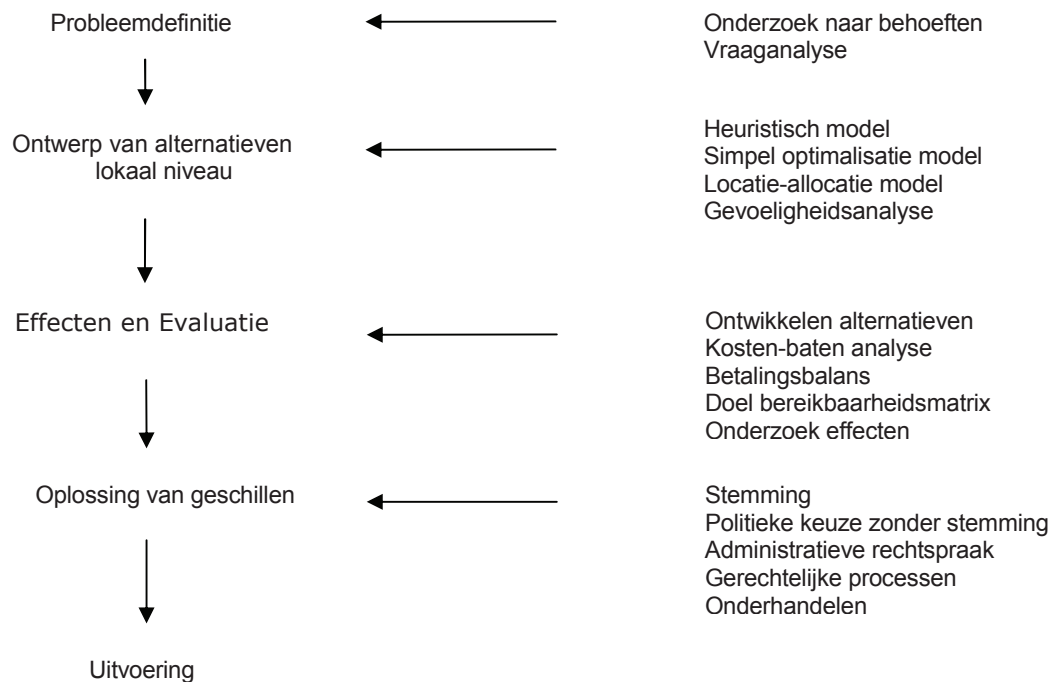
In het onderstaande overzicht zijn de opeenvolgende stappen aangegeven. Per stap is een aantal methoden c.q. technieken vermeld die hierbij gebruikt worden.

Binnen de traditionele planning betreft de probleemdefinitie veelal alleen het vergelijken van de behoefte aan voorzieningen met de doelmatige beschikbaarheid ervan. Deze doelmatigheid wordt uitgedrukt in de kosten van de voorzieningen, en de maximalisatie van het gebruik of toegankelijkheid voor gebruikers.

Bij het beoordelen van de doelmatigheid van openbare voorzieningen treedt een aantal complicaties op:

- de doelmatigheid moet vaak beoordeeld worden op onderling strijdige doelstellingen, b.v. minimale kosten versus maximale toegankelijkheid;
- veel voorzieningen worden niet benut door de volledige bevolking;
- sommige openbare voorzieningen hebben een negatief effect op de directe omgeving, waardoor het moeilijk is de meest gewenste locatie voor het totale gebied te vinden b.v. een locatie voor afvalverwijdering.

Gezien het voorgaande zal het duidelijk zijn dat de locatie van een voorziening vrijwel altijd gebaseerd moet worden op de beoordeling van meerdere criteria en de effecten ervan voor verschillende belanghebbenden. Dit betekent dat potentiële locaties onderling geëvalueerd dienen te worden.



4.3.3 De vraag naar openbare voorzieningen

De behoefte aan voorzieningen kan op twee manieren worden vastgesteld:

- behoeftebepaling per inwoner,
- behoefte op basis van de totale vraag.

Bij *behoeftebepaling per inwoner* wordt verondersteld dat de aard en omvang van de behoefte aan voorzieningen per inwoner bekend is. Eventueel kan de behoefte per inwoner verschillen, afhankelijk van leeftijd en/of inkomen. De vaststelling van de behoefte gaat als volgt:

- vooruitberekening van de bevolkingsomvang en samenstelling voor een gegeven jaar;
- selectie van de behoefte per inwoner voor de verschillende voorzieningen;
- vaststellen van de totale behoefte per voorziening door de bevolking of bevolkingsgroep te vermenigvuldigen met de behoefte per inwoner;
- vergelijking van de aard en omvang van de berekende behoefte met de bestaande capaciteit;
- analyse van de beschikbare middelen en/of beperkingen om de voorziening te realiseren.

In het onderstaande voorbeeld is de totale behoefte aan gronden ten behoeve van recreatie op basis van de normen per 1000 inwoners bepaald.

Soort gebied	Hectares per 1000 inwoners	Gebiedsgrootte in hectare		Straal van het invloedsgebied in kilometers.
		Ideaal	Minimaal	
Speelplaatsen	0.5	1.5	0.8	0.8
Buurtparken	0.8	4.0	2.0	0.8
Speelterreinen	0.5	6.0	4.0	2.5
Wijkparken	1.5	40.0	16.0	3.0
Stadsparken	0.8	80.0	40.0	5.0
Regionale parken	6.0	200.0 - 400.0	varieert	16.0

TABEL 4.3 STANDAARDEN VOOR RECREATIEGEBIEDEN.

De *behoeftebepaling op basis van de vraag* is een meer economische aanpak. Hierbij wordt met behulp van marktonderzoek vastgesteld hoeveel mensen van een voorziening gebruik zouden willen maken en hoeveel geld zij hiervoor zouden willen betalen via belastingen of rechtstreeks. Het marktonderzoek kan, onder andere, worden vormgegeven met enquêtes.

Met behulp van het onderzoek kan worden vastgesteld hoeveel mensen gebruik zullen maken van de voorzieningen in relatie tot de betalingen hiervoor. Hieruit kan de vereiste capaciteit en de financiële haalbaarheid c.q. het bedrag dat de overheid voor het in stand houden van een onrendabele voorziening kwijt is beoordeeld worden.

4.4 Modellen voor de analyse van locaties voor openbare voorzieningen

Formele modellen kunnen gebruikt worden als hulpmiddel voor de locatiekeuze van voorzieningen. Een aantal van deze modelbenaderingen wordt hierna genoemd.

4.4.1 Eenvoudige optimalisatie-modellen

Voor (1) de allocatie, (2) het vaststellen van de omvang van een voorziening per locatie en/of (3) de samenstelling van de voorzieningen per locatie kunnen eenvoudige optimalisatietechnieken worden gebruikt uit de operationele analyse.

Voor de keuze van de locatie van n voorzieningen kan de volgende doelstellingsfunctie worden opgesteld:

$$\text{Min} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m d_{ij} \cdot x_{ij} \quad \text{VERGELIJKING 4.6}$$

i = één van de n voorzieningen;

j = één van de m locaties;

d_{ij} = de kosten van het toewijzen van voorziening i aan locatie j

x_{ij} = de omvang van de stroom van i naar j .

Bij deze formulering zijn er 2 belangrijke aandachtspunten. De locatie i kan ook een eigen stroom hebben (x_{ii}). De omvang van de stromen is vooraf bekend. Een voorbeeld van zo'n situatie is de locatie van een voorziening waarvan mensen verplicht gebruik moeten maken, zoals bijvoorbeeld een medische voorziening. De 'stroom' is dan het aantal inwoners in een locatie en de doelstellingsfunctie komt dan overeen met het minimaliseren van de totaal af te leggen afstand.

Indien de 'stroom' afhankelijk is van de afgelegde afstand, zoals bij een commerciële voorziening, dan is een andere doelstellingsfunctie van toepassing:

$$\text{Max} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_j \cdot F(d_{ij}) \quad \text{VERGELIJKING 4.7}$$

Een commerciële voorziening wil immers het aantal bezoekers maximaliseren. Als de afstanden te groot worden, komen er minder klanten. Voor de functie F zijn verschillende functievormen mogelijk zoals in het vorige hoofdstuk is beschreven. Overigens geldt ook hier dat de eigen locatie ook in de berekening moet worden meegenomen.

4.4.2 Heuristisch model

De heuristische modelaanpak is het methodisch toepassen van gezond verstand op de concrete vraagstelling. Bij de heuristische aanpak wordt geen kwantitatief optimale oplossing gezocht, maar wel een indicatie hiervoor. Veel verschillende benaderingen zijn hiervoor mogelijk. Meestal beperkt de aanpak zich tot het vaststellen van de vraag naar voorzieningen, afgestemd op de omvang en de spreiding van de bevolking, en de afstand die voor het gebruiken van de voorziening moet worden afgelegd. Bovendien kunnen andere factoren zoals grondkosten, huurprijs, meervoudig gebruik, combinatie met andersoortige voorzieningen of activiteiten in de aanpak worden betrokken.

Een heuristische aanpak is bijvoorbeeld een **drempelanalyse**, waarbij tenminste een minimaal vereist aantal inwoners dicht bij de locatie van de voorziening dient te wonen dan alternatieve locaties en/of bestaande voorzieningen.

Een andere aanpak is het vaststellen van een **prioriteitsvolgorde** voor het ontwikkelen van voorzieningen op basis van bevolkingsomvang en afstand naar de locaties.

4.4.3 Locatie-allocation modellen

Met behulp van locatie-allocation modellen wordt getracht zowel het aanbod van voorzieningen én de vraag (bewoners, huizen) te alloceren.

Discrete modellen

Deze gaan uit van een gegeven set van potentiële vestigingsplaatsen voor de voorzieningen en de woongebieden. Het locatie-allocation model kan als volgt worden samengevat:

Er zijn n locaties met de coördinatoren x_j en y_j ($j = 1, \dots, n$) en elke locatie heeft β_j kosten, gerelateerd aan de omvang van de voorzieningen die ter plaatse worden geleverd. Er zijn m voorzieningen die gealloceerd moeten worden. De verplaatsingskosten tussen de woonlocaties en de voorzieningen α_{ij} is een matrix. Van deze matrix moet een subset worden gekozen. Het probleem dat opgelost moet worden is het vinden van de locaties voor de voorzieningen en de woningen (x_j, y_j) en α_{ij} .

4.4.4 Distributie-planologische modellen

Een voorbeeld van distributie planologische modellen is een hiërarchische benadering.

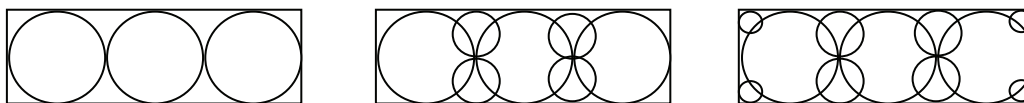
Hiërarchische spreiding vanuit het hoogste niveau

Voor gebieden met een dicht infrastructuurnetwerk en een gelijkmatige spreiding van de bevolking kan een hiërarchische spreiding van voorzieningen worden toegepast. Hierbij wordt een efficiënte en voor bewoners zo gelijk mogelijke *spreiding* van voorzieningen nagestreefd. Deze efficiëntie wordt bereikt door de vervoersafstanden te minimaliseren. De gelijkheid wordt nagestreefd door de vervoersafstanden tot een voor bewoners aanvaardbare maat te beperken.

De hiërarchie wordt geïntroduceerd door voor een verzameling bij elkaar gelegen voorzieningen de aanvaardbare vervoersafstand vast te stellen.

De methode wordt toegepast in twee stappen. In stap één wordt een algoritme gebruikt om het aantal voorzieningen vast te stellen. In de tweede stap worden de voorzieningen gelokaliseerd waarbij de vervoersafstanden voor de gebruikers worden geminimaliseerd.

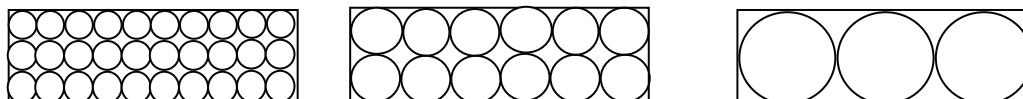
In de modelaanpak wordt vanuit het hoogste hiërarchische niveau naar beneden gewerkt. De begrenzing van het gebied dat op het hoogste niveau wordt bereikt, is een beperking voor het lagere niveau.



FIGUUR 4.2 HIËRARCHISCHE SPREIDING VANUIT HET HOOGSTE NIVEAU

Hiërarchische spreiding vanuit het laagste niveau

Een tweede methode begint op het laagste niveau binnen de hiërarchie. Hiervoor wordt een heuristische, stapsgewijze aanpak gebruikt.



FIGUUR 4.3 HIËRARCHISCHE SPREIDING VANUIT HET LAAGSTE NIVEAU.

5 RUIMTELIJKE MODELLEN

5.1 Kenmerken

Vrijwel alle ruimtelijke modellen hebben één ding met elkaar gemeen; ze veronderstellen een bepaalde mate van orde in het ruimtelijk gedrag. De volgende zes veronderstellingen liggen dan ook aan de meeste modellen ten grondslag.

1. *De ruimtelijke verspreiding van menselijke activiteiten wordt op geordende wijze door de factor afstand bepaald.*

Afstand vormt de basis voor geografie. Als alle dingen geconcentreerd zouden zijn op één plaats op één tijdstip, dan zouden er geen patronen zijn, geen ruimtelijke variatie en geen onderscheid in gebieden. Er zou dus geen geografie zijn. Bij het zoeken naar een relatie tussen ruimtelijk gedrag en afstand moet afstand als een ruim begrip worden gezien. Afstand kan bijvoorbeeld worden uitgedrukt in reistijd, transportkosten of de afstand over de weg gewogen naar type verharding.

2. *Beslissingen worden zodanig genomen dat de negatieve effecten van afstand worden geminimaliseerd.*

Deze veronderstelling, bekend als de wet van de minste inspanning, suggereert dat alle dingen hun doel bereiken via de kortste weg. Vestigingspatronen kunnen o.a. worden verklaard door verplaatsingsminimalisatie of wel afstandsminimalisatie.

3. *Alle locaties hebben een mate van bereikbaarheid.*

Bereikbaarheid kan worden gedefinieerd als het gemak waarmee op een plaats kan worden gekomen. De bereikbaarheid van een plaats wordt vaak gerelateerd aan de centrale ligging van een plaats t.o.v. van andere functies en plaatsen. Bereikbaarheid is dan ook sterk gerelateerd aan het principe van minste inspanning.

4. *Menselijke activiteiten hebben de neiging om zich te concentreren (agglomereren) op één plaats om zo kosten te kunnen besparen.*

Deze kosten kunnen bijvoorbeeld worden bespaard omdat bepaalde voorzieningen al aanwezig zijn of doordat de kosten van het realiseren van deze voorzieningen kunnen worden gedeeld.

5. *In de organisatie van menselijke activiteiten is een hiërarchische structuur te herkennen.*

De politieke organisatie is een fundamenteel aspect van de structuur van vestigingspatronen en hangt af van het onderlinge verband tussen de neiging tot concentratie van activiteiten en de bereikbaarheid. Op beter bereikbare plaatsen ontstaan grotere agglomeraties. Er bestaat dus een hiërarchie in plaatsen vanuit het oogpunt van bereikbaarheid.

6. *Het vestigingsgedrag van mensen is middelpuntsgericht van karakter.*

Niet alleen vanuit economisch oogpunt maar in het algemeen hebben mensen de neiging bij elkaar te gaan wonen.

5.2 Hansen's Potential Model [Lee, 1973]

Doel

Hansen's model is een locatiemodel om de verdeling van bijvoorbeeld de bevolking, of de groei daarvan, over zones te voorspellen, gebaseerd op de veronderstelling dat de massa van de zone (bijvoorbeeld de werkgelegenheid) en de bereikbaarheid daarvan de belangrijkste bepalende factoren zijn.

Werking

Volgens Hansen zou de relatie tussen de verdeling van de te verdelen grootte (bijvoorbeeld bevolking) en de massa (bijvoorbeeld werkgelegenheid) kunnen worden uitgedrukt in een bereikbaarheidsindex (A_i), die voor elke zone de bereikbaarheid van de massa weergeeft. De bereikbaarheidsindex van zone i in relatie tot zone j is:

$$A_{ij} = \frac{M_j}{d_{ij}^b} \quad \text{Vergelijking 5.1}$$

A_{ij} = de bereikbaarheidsindex van zone i in relatie tot zone j ;
 M_j = totale massa in j ;
 d_{ij} = de afstand tussen i en j ;
 b = de macht van d_{ij} .

De totale index van zone i is de som van alle afzonderlijke indices.

$$A_i = \sum_{j=1}^m A_{ij} = \sum_{j=1}^m \frac{M_j}{d_{ij}^b} \quad \text{Vergelijking 5.2}$$

Het volume dat door een zone wordt aangetrokken wordt naast de bereikbaarheid ook bepaald door het aantal beschikbare terreinen of de oppervlakte dat geschikt voor die functie. Hansen noemt dit de capaciteit (H_i) van een gebied. Door vermenigvuldiging van de bereikbaarheidsindex met de capaciteit kan een index voor de ontwikkelingspotentie (D_i) van een zone worden verkregen.

$$D_i = A_i \cdot H_i \quad \text{Vergelijking 5.3}$$

De toe te delen grootte wordt nu gealloceerd op basis van de relatieve ontwikkelingspotentie van elke zone:

$$\frac{D_i}{\sum_{k=1}^n D_k} = \frac{A_i \cdot H_i}{\sum_{k=1}^n A_k \cdot H_k} \quad \text{Vergelijking 5.4}$$

Met andere woorden: Hansen veronderstelt dat de verdeling van toe te delen grootte over de zones afhankelijk is van de aantrekkelijkheid van elke zone t.o.v. de andere (concurrerende) zones. Als de totale groei G_t is, dan zal de groei in zone i gelijk zijn aan:

$$G_i = G_t \cdot \frac{D_i}{\sum_{k=1}^n D_k} = G_t \cdot \frac{A_i \cdot H_i}{\sum_{k=1}^n A_k \cdot H_k} \quad \text{Vergelijking 5.5}$$

Afhankelijk van de toepassing (keuze van G : (groei van) inwoners of arbeidsplaatsen of...) moeten dus de juiste waarden voor M en d worden gekozen. Deze methode kan bijvoorbeeld worden gebruikt om het effect op de verdeling van de bevolking van politieke maatregelen te bepalen, bijvoorbeeld door het specificeren van alternatieve verdelingen van de werkgelegenheid, alternatieve reistijden en verschillende wooncapaciteiten. In onderstaand voorbeeld wordt geïllustreerd hoe het Hansen-model kan worden gebruikt om te kijken of de huidige verdeling van de bevolking over zones overeenkomt met de theoretisch te verwachten verdeling.

Voorbeeld 5.1 (Lee, 1973)

In dit voorbeeld wordt het model niet gebruikt om de toekomstige situatie te voorspellen, maar om de **huidige verdeling van inwoners te reproduceren**. Voor het voorspellen is de toekomstige werkgelegenheid een vereiste, terwijl in dit voorbeeld de huidige werkgelegenheid als input wordt genomen om na te gaan of het model de (huidige) verdeling van de bevolking juist kan voorspellen. In Tabellen 1 en 2 staan de benodigde gegevens van drie zones in een stedelijk gebied. De drie zones zijn in Figuur 1 weergegeven.



Figuur 1 Drie zones in een stedelijk gebied schematisch weergegeven.

Zone nr.	Werkgelegenheid in basissector	Werkgelegenheid in dienstensector	Totale werkgelegenheid	Totale bevolking	Wooncapaciteit (acres)
1	2800	1200	4000	19000	100
2	4000	4000	8000	35000	125
3	12000	20000	32000	41000	100
Totaal	18800	25200	44000	95000	325

Tabel 1 Werkgelegenheid (in basissector en dienstensector), bevolkingsomvang en wooncapaciteit (in acres) per zone.

Naar j Van i	j = 1	j = 2	j = 3
i = 1	2	8	6
i = 2	8	3	4
i = 3	6	4	3

Tabel 2 Afstands- of reistijdmatrix.

Allereerst wordt de bereikbaarheidsindex, A_{ij} , voor elke zone berekend. De parameter b is hier gelijkgesteld aan 2. Voor de massa M wordt de werkgelegenheid gebruikt.

$$A_i = \sum_{j=1}^m \frac{M_j}{d_{ij}^b}$$

Deze berekening is in Tabel 3 weergegeven.

Zone	j = 1	j = 2	j = 3	$\sum_j A_{ij}$
i = 1	$\frac{4000}{2^2} = 1000$	$\frac{8000}{8^2} = 125$	$\frac{32000}{6^2} = 888,89$	2014
i = 2	$\frac{4000}{8^2} = 62,5$	$\frac{8000}{3^2} = 888,89$	$\frac{32000}{4^2} = 2000$	2951
i = 3	$\frac{4000}{6^2} = 111,1$	$\frac{8000}{4^2} = 500$	$\frac{32000}{3^2} = 3555,56$	4167

Tabel 3 Berekening van de bereikbaarheidsindex van zone i in relatie tot zone j , A_{ij} en de totale index.

De volgende stap is het berekenen van de ontwikkelingspotentie (D_i) van elke zone. Uit berekening volgt Tabel 4

$$D_i = A_i H_i$$

Zone	A_i	H_i	$D_i = A_i H_i$
1	2014	100	201400
2	2951	125	368924
3	4167	100	416700

Tabel 4 De ontwikkelingspotentie van elke zone afhankelijk van de bereikbaarheidsindex (A_i) en de wooncapaciteit (H_i).

De totale ontwikkelingspotentie in het gebied is dus:

$$\sum_i D_i = 201400 + 368924 + 416700 = 987024$$

Het volgende dat wordt berekend is de relatieve ontwikkelingspotentie, de aantrekkelijkheid van een zone t.o.v. de totale aantrekkelijkheid van alle andere zones (zie Tabel 5)

Zone	D_i	$D_i / \sum_i D_i$
1	201400	0,204
2	368924	0,374
3	416700	0,422
Totaal	987024	1,000

Tabel 5 De relatieve ontwikkelingspotentie.

Wanneer nu een schatting van de totale groei van de bevolking bekend zou zijn, zou de verdeling van deze groei over de drie zones kunnen worden bepaald. In plaats van de totale groei wordt in dit voorbeeld de huidige bevolkingsomvang genomen en wordt de huidige verdeling bepaald (zie Tabel 6).

$$G_i = G_t \frac{(A_i H_i)}{(\sum_i A_i H_i)} \text{ of } G_t \frac{D_i}{\sum_i D_i}$$

Zone	$D_i / \sum_i D_i$	$G_i = G_t \times (D_i / \sum_i D_i)$
1	0,204	19384
2	0,374	35510
3	0,422	40106
Totaal	1,000	95000

Tabel 6 Voorspelde bevolkingsomvang per zone, G_i .

Vergelijking met de aangenomen bevolking (Tabel 1) laat zien dat het model een goede benadering geeft.

5.3 Het Lowry model [Lee, 1973]

Doel

Het Lowry model beschrijft de wisselwerking tussen bevolking en werkgelegenheid in een gebied en de manier waarop deze wisselwerking veranderingen in het stedelijk gebied beïnvloedt. M.a.w.: het model beschrijft welke invloed de werkgelegenheid op de bevolkingsomvang heeft en omgekeerd, en hoe de spreiding van bevolking en werkgelegenheid in een gebied door deze wederzijdse afhankelijkheid wordt beïnvloed.

Werking

In het model wordt het zwaartekrachtprincipe gecombineerd met de economische basistheorie.

Economische basistheorie

In de economische basistheorie worden de economische activiteiten in een gebied in twee sectoren onderscheiden:

1. De export of basissector: deze produceert hoofdzakelijk voor consumptie buiten het gebied. Er wordt van uitgegaan dat de groei van deze sector is gerelateerd aan de nationale economische groei.
2. De diensten- of lokaal afhankelijke sector: de groei van deze sector is afhankelijk van de lokale bevolkingsgroei.

De groei van de basissector is gerelateerd aan de nationale economische groei. De economische basistheorie veronderstelt dat de werkgelegenheid in deze sector in een gebied alleen door nationale economische ontwikkelingen wordt bepaald. De nationale economische ontwikkelingen worden als gegeven beschouwd en daarmee ook de werkgelegenheid in de basissector in een gebied. Met de economische basistheorie kan, gegeven de totale werkgelegenheid in de basissector, de totale bevolkingsomvang en de totale werkgelegenheid in de dienstensector worden bepaald.

De bevolkingsomvang in een gebied is deels afhankelijk van de werkgelegenheid in de basissector. Dit deel van de bevolking is de basisbevolking. De basisbevolking wordt verkregen uit de basiswerkgelegenheid met behulp van de zogenaamde bevolkingsmultiplier.

De basisbevolking vraagt om voorzieningen zoals winkels, ziekenhuizen, en andere diensten. Deze vraag zorgt voor werkgelegenheid in de dienstensector. Het aantal banen in de dienstensector wordt berekend met behulp van de bevolkingsomvang-dienstenratio.

Evenals de basissector bepaalt ook de dienstensector een deel van de bevolkingsomvang. Dit is de extra bevolking, naast de basisbevolking. Deze extra bevolking vraagt ook om voorzieningen, wat voor extra banen in de dienstensector zorgt.

De werkgelegenheid in de dienstensector is afhankelijk van de bevolkingsomvang, maar omgekeerd neemt de bevolkingsomvang toe wanneer de werkgelegenheid in de dienstensector toeneemt. Elke toename in bevolking heeft dus extra banen in de dienstensector tot gevolg en omgekeerd. Het proces van berekenen van toename van bevolking en banen wordt herhaald totdat deze toenames verwaarloosbaar klein zijn geworden. De som van toenames is de voorspelde bevolkingsomvang en het voorspelde aantal banen in de dienstensector.

Zwaartekrachtprincipe

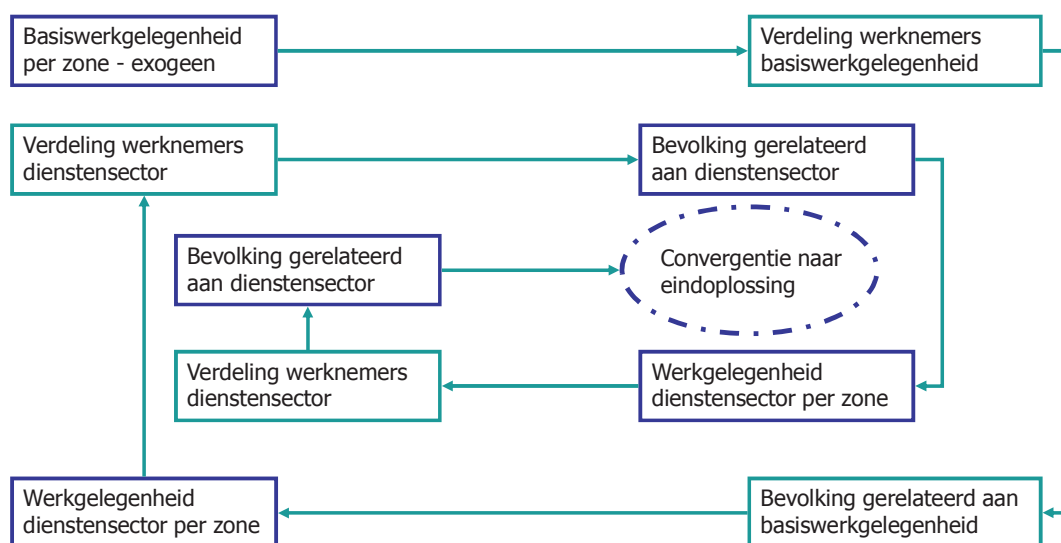
Wat planners graag willen weten is, waar woonlocaties moeten worden gecreëerd en hoe groot dienstensectorcentra worden, afhankelijk van de plaats van bijvoorbeeld een nieuwe fabriek in een regio. Voor het bepalen van de locatie van de verschillende activiteiten wordt in het Lowry-model het zwaartekrachtprincipe gebruikt.

Het uitgangspunt van het zwaartekrachtprincipe is dat de mate van interactie tussen twee of meer zones direct evenredig is met de grootte (of aantrekkingskracht) van de zones en omgekeerd evenredig is met de afstand tussen de zones én de relatieve aantrekking van andere (concurrerende) zones.

In het Lowry model betekent dit dat het aantal mensen, wonend in zone j en werkend in zone i , afhankelijk is van het totaal aantal werknemers in zone i en de waarschijnlijkheid dat er interactie plaatsvindt tussen zone i en zone j . De waarschijnlijkheid van interactie tussen zone i en j wordt bepaald door de omvang van zone j , de relatieve aantrekking van de andere zones en de afstand tussen zone i en j .

Stroomdiagram Lowry

In figuur 5.1 staat een stroomdiagram van het Lowry-model weergegeven. In het Lowry model wordt de werkgelegenheid in de basissector in elke zone als gegeven beschouwd. Met dit gegeven kan op basis van het zwaartekrachtprincipe en de economische basistheorie het aantal werknemers wonend in zone j en werkend in de basissector in elke zone i , worden berekend. Met behulp van de bevolkingsmultiplier wordt de basisbevolking in elke zone j berekend. Met behulp van de bevolkingsomvang-diensten ratio wordt vervolgens de toename in banen in de dienstensector berekend en met het zwaartekrachtprincipe verdeeld over de verschillende zones.



FIGUUR 5.1 STROOMDIAGRAM LOWRY-MODEL

Op dezelfde manier kan de toename en locatie van de bevolking worden bepaald die afhankelijk is van de toename van het aantal banen in de dienstensector in zone i . Dit proces herhaalt zich totdat de toenames van bevolking en het aantal banen verwaarloosbaar klein zijn geworden. Het hele proces zal in Voorbeeld 5.2 worden verduidelijkt met formules en getallen.

VOORBEELD 5.2 (UIT [LEE, 1973])

In dit voorbeeld wordt hetzelfde gebied beschouwd als in het voorbeeld bij het Hansen Potential model (zie Tabellen 1 en 2). Met het Lowry-model wordt wederom de huidige verdeling van de bevolking en de werkgelegenheid in de dienstensector over de zones gereproduceerd, gegeven de locatie van de werkgelegenheid in de basissector. Omdat we de eigenlijke verdeling over de locaties kennen, kunnen we het resultaat van het model vergelijken met deze verdeling. De eigenlijke verdeling van bevolking en dienstensector wordt niet gebruikt in het model, behalve om de bevolkingsmultiplier en de bevolkingsomvang-diensten-ratio uit te rekenen.

Zone nr.	Werkgelegenheid in basissector	Werkgelegenheid in dienstensector	Totale werkgelegenheid	Totale bevolking	Wooncapaciteit (acres)
1	2800	1200	4000	19000	100
2	4000	4000	8000	35000	125
3	12000	20000	32000	41000	100
Totaal	18800	25200	44000	95000	325

TABEL 1 WERKGELEGENHEID (IN BASISSECTOR EN DIENSTENSECTOR), BEVOLKINGSMOMANG EN WOONCAPACITEIT (IN ACRES) PER ZONE.

	Naar j	$j = 1$	$j = 2$	$j = 3$
Van i				
$i = 1$		2	8	6
$i = 2$		8	3	4
$i = 3$		6	4	3

TABEL 2 AFSTANDS- OF REISTIJDMATRIX.

De eerste stap is het berekenen van de bevolkingsmultiplier en de bevolkingsomvang-diensten-ratio:

$$\alpha = P/E = 95000/44000 = 2,159$$

$$\beta = S/P = 25200/95000 = 0,265$$

waarin:

P = totale bevolkingsomvang

E = totale werkgelegenheid

S = werkgelegenheid in de dienstensector

Vervolgens wordt bepaald waar de arbeiders in de basissector, B_i , wonen met behulp van de volgende formule:

$$T_{ij} = B_i A_i P_j d_{ij}^{-b}$$

waarin

T_{ij} = het aantal werknemers in de basissector in zone i wonend in zone j ;

B_i = het totaal aantal werknemers in de basissector in zone i ;

$A_i P_j d_{ij}^{-b}$ = de waarschijnlijkheid van interactie tussen zone i en j ;

A_i = maat voor de relatieve aantrekking van andere zones;

$$A_i = \left(\sum_j P_j d_{ij}^{-b} \right)^{-1}$$

P_j = huidige bevolkingsomvang van zone j ;

d_{ij} = afstand tussen zone i en j ;

b = macht die de verhouding tussen afstand en bevolkingsomvang bepaalt.

Bovenstaande formule kan ook worden geschreven als:

$$T_{ij} = B_i \times \frac{P_j d_{ij}^{-b}}{\sum_j P_j d_{ij}^{-b}}$$

Eerst moet de waarschijnlijkheid van interactie $(Pr_{ij})^P$ worden berekend. De exponent b wordt gelijk gesteld aan 2.

$$(Pr_{ij})^P = A_i P_i d_{ij}^{-2} = \frac{P_j d_{ij}^{-2}}{\sum_j P_j d_{ij}^{-2}}$$

En om deze term uit te kunnen rekenen moet eerst $(P_j d_{ij}^{-2})$ worden berekend. Deze waarden zijn voor elke zone weergegeven in Tabel 3.

j	j = 1	j = 2	j = 3	$\sum_j P_j d_{ij}^{-2}$
i				
$i = 1$	$\frac{19000}{2^2} = 4750$	$\frac{35000}{8^2} = 546,88$	$\frac{41000}{6^2} = 1138,89$	6435,77
$i = 2$	$\frac{19000}{8^2} = 296,88$	$\frac{35000}{3^2} = 3888,89$	$\frac{41000}{4^2} = 2562,5$	6748,27
$i = 3$	$\frac{19000}{6^2} = 527,78$	$\frac{35000}{4^2} = 2187,5$	$\frac{41000}{3^2} = 4555,56$	7270,84

TABEL 3 DE BEREKENING VAN $P_j d_{ij}^{-2}$.

Met deze getallen kan de waarschijnlijkheid van interactie worden berekend Tabel 4.

i \ j	j = 1	j = 2	j = 3
i = 1	$\frac{4750}{6435,77} = 0,738$	$\frac{546,88}{6435,77} = 0,085$	$\frac{1138,89}{6435,77} = 0,177$
i = 2	$\frac{296,88}{6748,27} = 0,044$	$\frac{3888,88}{6748,27} = 0,576$	$\frac{2562,5}{6748,27} = 0,380$
i = 3	$\frac{527,78}{7270,84} = 0,073$	$\frac{2187,5}{7270,84} = 0,301$	$\frac{4555,56}{7270,84} = 0,626$

TABEL 4 BEREKENING VAN DE WAARSCHIJNLIJKHEID VAN INTERACTIE (PR_{ij})P.

De toewijzing van de arbeiders aan de zones kan nu worden berekend zoals in Tabel 5 staat weergegeven.

i \ j	j = 1	j = 2	j = 3
i = 1	$2800 \times 0,738$ = 2066	$2800 \times 0,085$ = 238	$2800 \times 0,177$ = 496
i = 2	$4000 \times 0,044$ = 176	$4000 \times 0,576$ = 2304	$4000 \times 0,380$ = 1520
i = 3	$12000 \times 0,073$ = 876	$12000 \times 0,301$ = 3612	$12000 \times 0,626$ = 7512
$\sum_i T_{ij}(1)$	3118	6154	9528

TABEL 5 BEREKENING VAN $T_{ij}(1) = B_i(PR_{ij})P_j$.

Elk hokje in de tabel (behalve de laatste rij) geeft het aantal mensen aan dat werkt in de basissector in zone i en woont in zone j . Het totaal aantal arbeiders dat in een zone j woont is gelijk aan de som van T_{ij} over i .

Door het aantal arbeiders dat in een zone woont te vermenigvuldigen met de bevolkingsmultiplier α kan nu in elke zone de totale basisbevolking ($P_i(1)$) worden gevonden:

$$P_j(1) = \alpha \sum_i T_{ij}(1) = 2,159 \sum_i T_{ij}(1)$$

waarin:

$P_i(1)$ = totale basisbevolking in zone j .

De basisbevolking in elke zone is dan:

$$P_1(1) = 2,159 \sum_i T_{i1}(1) = 2,159 \times 3118 = 6732$$

$$P_2(1) = 2,159 \sum_i T_{i2}(1) = 2,159 \times 6154 = 13286$$

$$P_3(1) = 2,159 \sum_i T_{i3}(1) = 2,159 \times 9528 = 20571$$

Het volgende dat kan worden bepaald is het aantal banen in de dienstensector ($D_i(1)$) dat door de basisbevolking wonend in elke zone wordt gevraagd. Dit kan door de bevolkingsomvang in elke zone te vermenigvuldigen met de bevolkingsomvang-diensten-ratio volgens:

$$D_i(1) = \beta P_i(1) = 0,265 P_i(1)$$

waarin:

$D_i(1)$ = het aantal banen in de dienstensector afhankelijk van de basisbevolking in elke zone j .

$$D_1(1) = 0,265 \times P_1(1) = 0,265 \times 6732 = 1783$$

$$D_2(1) = 0,265 \times P_2(1) = 0,265 \times 13286 = 3521$$

$$D_3(1) = 0,265 \times P_3(1) = 0,265 \times 20571 = 5451$$

De banen in de dienstensector moeten nu worden verdeeld over de dienstencentra. Hiervoor wordt de volgende formule gebruikt:

$$S_{ij}(1) = D_i(1)K_i S_i d_{ij}^{-b}$$

waarin:

- S_{ij} = het aantal banen in dienstencentrum i voor mensen wonend in zone j ;
 D_i = het totaal aantal banen in de dienstensector afhankelijk van de bevolkingsomvang in zone j ;
 $K_i S_i d_{ij}^{-b}$ = de waarschijnlijkheid van interactie tussen zone i en j ;
 K_i = maat voor de relatieve aantrekking van andere zones;

$$K_j = \left(\sum_i S_i d_{ij}^{-2} \right)^{-1}$$

- S_i = huidige omvang van de dienstensector in zone i ;
 d_{ij} = afstand tussen zone j en i ;

Weer wordt eerst de waarschijnlijkheid van interactie berekend.

$$(Pr_{ji})^S = K_j S_i d_{ji}^{-2}$$

Eerst wordt de term $S_i d_{ij}^{-2}$ uitgerekend in Tabel 6

i	j = 1	j = 2	j = 3
i = 1	$\frac{1200}{2^2} = 300$	$\frac{1200}{8^2} = 18,75$	$\frac{1200}{6^2} = 33,33$
i = 2	$\frac{4000}{8^2} = 62,5$	$\frac{4000}{3^2} = 444,44$	$\frac{4000}{4^2} = 250$
i = 3	$\frac{20000}{6^2} = 555,56$	$\frac{20000}{4^2} = 1250$	$\frac{20000}{3^2} = 2222,22$
$\sum_i S_i d_{ji}^{-2}$	918,06	1713,19	2505,55

TABEL 6 DE BEREKENING VAN $S_i d_{ij}^{-2}$.

Met deze waarden kan $(Pr_{ji})^S$ worden berekend (Tabel 7).

i	j = 1	j = 2	j = 3
i = 1	$\frac{300}{918,06} = 0,33$	$\frac{18,75}{1713,19} = 0,01$	$\frac{33,33}{2505,55} = 0,01$
i = 2	$\frac{62,5}{918,06} = 0,07$	$\frac{33,33}{1713,19} = 0,01$	$\frac{250}{2505,55} = 0,10$
i = 3	$\frac{555,56}{918,06} = 0,60$	$\frac{1250}{1713,19} = 0,73$	$\frac{2222,22}{2505,55} = 0,89$

TABEL 7 BEREKENING VAN DE WAARSCHIJNLIJKHEID VAN INTERACTIE $(Pr_{ji})^S$.

Nu kan de werkgelegenheid in de dienstensector in elke zone, die per zone wordt gevraagd, worden bepaald.

$$\begin{aligned}
 S_{11} &= D_1(1)(Pr_{11})^S = 1783 \times 0,33 = 588 \\
 S_{12} &= D_1(1)(Pr_{12})^S = 1783 \times 0,07 = 125 \\
 S_{13} &= D_1(1)(Pr_{13})^S = 1783 \times 0,60 = 1070 \\
 S_{21} &= D_1(1)(Pr_{21})^S = 3521 \times 0,01 = 35 \\
 S_{22} &= D_1(1)(Pr_{22})^S = 3521 \times 0,26 = 916 \\
 S_{23} &= D_1(1)(Pr_{23})^S = 3521 \times 0,73 = 2570 \\
 S_{31} &= D_1(1)(Pr_{31})^S = 5451 \times 0,01 = 55 \\
 S_{32} &= D_1(1)(Pr_{32})^S = 5451 \times 0,10 = 545 \\
 S_{33} &= D_1(1)(Pr_{33})^S = 5451 \times 0,89 = 4851
 \end{aligned}$$

De totale werkgelegenheid in de dienstensector in elke zone kan worden gevonden door sommatie van alle S_{ji} (Tabel 8).

I	j = 1	j = 2	j = 3	$\sum_j S_{ji}$
$i = 1$	588	35	55	678
$i = 2$	125	916	545	1586
$i = 3$	1070	2570	4851	8491

TABEL 8 DE WERKGELEGENHEID IN DIENSTENSECTOR S_{ji} .

De eerste iteratiestap van het model is nu voltooid. De eerste toename van bevolking en werkgelegenheid in de dienstensector is hiermee berekend. In Tabel 9 staat een samenvatting van de resultaten.

Zone	Werkgelegenheid in basissector	Toename bevolking	Toename werkgelegenheid dienstensector
1	2800	6732	678
2	400	13286	1586
3	12000	20571	8491

TABEL 9 DE RESULTATEN NA ÉÉN ITERATIE.

In feite zijn er 16 iteraties nodig om de verdeling van bevolking en werkgelegenheid te bepalen. De tweede iteratiestap wordt hier nog bekeken. Van de volgende stappen worden alleen de resultaten gegeven.

De tweede iteratiestap begint niet met de werkgelegenheid in de basissector maar met de toename van de werkgelegenheid in de dienstensector. De eerste stap is te bepalen waar de mensen wonen, die in deze sector werken. In de vergelijking voor T_{ij} wordt B_i vervangen door $S_i(1)$:

$$T_{ij}(2) = S_i(1)(Pr_{ij})^P$$

waarin:

$T_{ij}(2)$ = aantal werknemers in de dienstensector in zone i wonend in zone j.

i	j = 1	j = 2	j = 3
$i = 1$	$678 \times 0,738$ = 500	$678 \times 0,085$ = 58	$678 \times 0,177$ = 120
$i = 2$	$1586 \times 0,044$ = 70	$1586 \times 0,576$ = 914	$1586 \times 0,380$ = 603
$i = 3$	$8491 \times 0,073$ = 620	$8491 \times 0,301$ = 2556	$8491 \times 0,626$ = 5315
$\sum_i T_{ij}(2)$	1190	3528	6038

TABEL 10 BEREKENING VAN $T_{ij}(2) = S_i(1)(Pr_{ij})^P$.

Het volgende is het berekenen van de bevolkingsomvang die afhankelijk is van de banen in de dienstensector.

$$P_j(2) = \alpha \sum_i T_{ij}(2)$$

dus:

$$P_1(2) = 2,159 \times 1190 = 2569$$

$$P_2(2) = 2,159 \times 3528 = 7617$$

$$P_3(2) = 2,159 \times 6038 = 13036$$

Deze bevolking genereert weer banen in de dienstensector:

$$D_i(2) = \beta P_i(2)$$

dus:

$$D_1(2) = 0,265 \times 2569 = 681$$

$$D_2(2) = 0,265 \times 7617 = 2019$$

$$D_3(2) = 0,265 \times 13036 = 3455$$

Deze banen worden verdeeld over de zones volgens Tabel 11.

i	j	j = 1	j = 2	j = 3	$S_i(2) = \sum_j S_{ji}$
i = 1		681x0,33 = 225	2019x0,01 = 20	3455x0,01 = 35	280
i = 2		681x0,07 = 48	2019x0,26 = 525	3455x0,10 = 346	919
i = 3		681x0,60 = 409	2019x0,73 = 1474	3455x0,89 = 3075	4958

TABEL 11 BEREKENING VAN $S_{ji}(2) = D_j(2)(PR_{ji})S$.

De resultaten van de tweede iteratie staan in Tabel 12.

Zone	Toename bevolking	Toename werkgelegenheid dienstensector
1	2569	280
2	7617	414
3	13036	4958

TABEL 12 DE RESULTATEN VAN DE TWEEDE ITERATIE.

Bij elke iteratiestap zijn de toenames van bevolking en werkgelegenheid kleiner. In Tabel 13 staan de resultaten van alle 16 iteraties. De som van deze resultaten geeft de totale verdeling van de bevolking en de werkgelegenheid in de dienstensector over de zones.

Iteratie nr.	Werkgelegenheid in dienstensector				Bevolkingsomvang			
	1	2	3	Totaal	1	2	3	Totaal
1	678	1586	8491	10755	6732	13286	20571	40589
2	280	919	4958	6157	2569	7617	13036	23222
3	155	528	2849	3532	1339	4408	7596	13343
4	87	303	1633	2023	743	2536	4346	7625
5	50	174	935	1159	424	1454	2490	4368
6	28	99	536	663	242	833	1426	2501
7	16	57	307	380	139	477	817	1433
8	9	33	176	218	79	273	468	820
9	5	19	101	125	46	156	268	470
10	3	11	58	72	26	90	153	269
11	2	6	33	41	15	51	88	154
12	1	4	19	24	9	29	50	88
13	1	2	11	14	5	17	29	51
14	0	1	6	7	3	10	17	30
15	0	1	4	5	2	6	9	17
16	0	0	2	2	1	3	5	9
Totaal	1315	3743	20119	25177	12374	31246	51369	94989

TABEL 13 DE RESULTATEN VAN 16 ITERATIES VAN HET LOWRY-MODEL.

Tot slot kunnen de voorspelde waarden worden vergeleken met de gegeven waarden en kan worden geconcludeerd dat de verschillen tussen deze waarden klein zijn (zie Tabel 14).

Zone	Werkgelegenheid in dienstensector		Totale werkgelegenheid		Totale bevolkingsomvang	
	Gegeven	Voorspeld	Gegeven	Voorspeld	Gegeven	Voorspeld
1	1.200	1.315	4.000	4.115	19.000	12.374
2	4.000	3.743	8.000	7.743	35.000	31.246
3	20.000	20.119	32.000	32.119	41.000	51.369
Totaal	25.200	25.177	44.000	43.977	95.000	94.989

TABEL 14 VERGELIJKING VAN GEGEVEN EN VOORSPELDE WAARDEN VAN WERKGELEGENHEID IN DE DIENSTENSECTOR, TOTALE WERKGELEGENHEID EN TOTALE BEVOLKING.

Voor zowel het Lowry-model als het Hansen-model geldt dat het een schematisatie is van de werkelijkheid. De modellen beschrijven een belangrijk mechanisme, ruimtelijke interactie, en laten dus tegelijkertijd een aantal andere aspecten buiten beschouwing. Voorbeelden hiervan zijn beperkingen in beschikbare ruimte (met name voor het Lowry-model) of ruimtelijk beleid (in Nederland hebben we bijvoorbeeld in het verleden het principe van gebundelde deconcentratie gehanteerd). Dit betekent dat er altijd verschillen zullen zijn tussen de uitkomsten van een ruimtelijk interactiemodel en de werkelijkheid. Daarnaast geldt natuurlijk dat de keuze van de in de modellen gebruikte variabelen (denk bijvoorbeeld aan de massa M in het Hansen model of aan de maat voor de beschikbare ruimte) grote invloed heeft op de resultaten.

6 VEKEERS- EN VERVOERMODELLEN

6.1 Theorievorming verplaatsingskeuzes

6.1.1 Micro-economische nutstheorie

Het is onmogelijk om de manier waarop mensen keuzes maken precies te begrijpen. Voor modelleringsdoeleinden is het noodzakelijk om met een beschrijving te komen die de belangrijkste kenmerken vangt. Gezien begrippen als 'de kortste weg' zou men verleid kunnen worden om kostenminimalisering als belangrijkste principe te gebruiken. Kostenminimalisering zou echter tot triviale oplossingen kunnen leiden (niet reizen) terwijl het fenomenen zoals de groeiende mobiliteit niet beschrijft. Een beter concept is nutsmaximalisatie. Hierbij veronderstelt men dat reizigers proberen om hun nut te maximaliseren. Bij vervoer wordt nut geassocieerd met activiteiten die worden uitgevoerd, terwijl disnut de inspanning is die nodig is om plaatsen waar die activiteiten plaatsvinden te bereiken. Binnen deze benadering zou verbetering van de infrastructuur leiden tot reizigers die verder reizen om het netto nut dat zij ervaren te verhogen. Hoewel het nutsmaximalisatiemodel regelmatig bekritiseerd wordt (mensen zouden andere keuzestrategieën kunnen hebben zoals tevredenheid nastreven, gewoontes spelen een belangrijke rol bij (keuze-) edrag, hoe kan nut worden gekwantificeerd, reizigers kunnen niet alle alternatieven overdenken, er kunnen allerlei beperkingen zijn, enz.) blijkt het een vruchtbare benadering voor vervoerstudies te zijn.

Keuzefactoren

Het principe van nutsmaximalisatie kan worden verklaard met het volgende voorbeeld. Laten we veronderstellen dat een reiziger uit verschillende plaatsen kan kiezen om een activiteit, bv. vrije tijd, uit te voeren. De kwaliteit of de ervaring (nut) verschilt tussen de plaatsen, net als de benodigde inspanning (disnut) om deze plaatsen te bereiken.

Bij het beslissen omtrent een verplaatsing spelen drie nutscomponenten een rol:

- het nut N_i van het blijven op de plaats van herkomst i ,
- het nut N_j van een activiteit gaan verrichten op een plaats van bestemming j , (resp. goederen te brengen naar plaats j).
- het disnut (offer) Z_{ij} van de verplaatsing.

Er zal een verplaatsing worden gemaakt als het saldo van deze nutscomponenten positief is:

$$\{N_j - N_i - Z_{ij} > 0\} \quad \text{VERGELIJKING 6.1}$$

ofwel

$$\{N_j > N_i + Z_{ij}\} \quad \text{VERGELIJKING 6.2}$$

Eenvoudigheids halve kiezen we de nutschaal voor de activiteiten zodanig dat $N_i = 0$, het nut van in de herkomst blijven (blijven waar we zijn, het goed laten waar het is) is nihil.

N_j : nut in bestemming j

Het individu kent een positief nut N_j toe aan elke activiteit in j . Dit nut is afhankelijk van het soort activiteit en de kenmerken ervan. Het totale nut is opgebouwd uit deelnutten n die voortvloeien uit de afzonderlijke kenmerken g . Elk individu waardeert activiteiten (en de kenmerken ervan) op zijn eigen manier:

$$N_j = \sum n_{jg} = \sum (\beta_g \bullet X_{jg}) \quad \text{VERGELIJKING 6.3}$$

Deze gewogen som is een uitdrukking van de afwegingen die de reiziger maakt tussen de kenmerken X van een activiteit.

Bij een winkelverplaatsing weegt het individu zaken als assortiment en kwaliteit via wegingsfactoren β . Hij is bijvoorbeeld bereid een geringere kwaliteit op te offeren tegen een breder assortiment.

Bij goederenvervoer kent de beslissingnemer (vaak de verlader) een bepaald nut toe aan het aanwezig zijn van goederen in j . Dit nut kan eruit bestaan dat het goed dan (wel) kan worden verkocht of bewerkt. Ook bij het goederenvervoer zal het nut opgebouwd zijn uit deelnutten en zal iedere verlader deze deelnutten op zijn eigen manier inschatten.

Z_{ij} : verplaatsingsoffer

De reiziger kent aan de verplaatsing(sketen), nodig om een activiteit in j te kunnen ontplooiën, een disnut Z_{ij} toe. Het totale offer is opgebouwd uit de disnutten Z van de afzonderlijke kenmerken h . De 'waarde' van deze elementen hangt af van persoonskenmerken, kenmerken van het vervoersysteem en de kenmerken van de verplaatsing $i - j$ (zoals de af te leggen afstand). Elke reiziger waardeert het verplaatsingsoffer op zijn eigen manier.

$$Z_{ij} = \sum z_{ijh} = \sum (\alpha_h \bullet Y_{jh})$$

VERGELIJKING 6.4

Bij een verplaatsing weegt een reiziger zaken als tijd, afstand, kosten en parkeren via wegingsfactoren. Hij is bijvoorbeeld bereid hogere kosten te maken als het sneller gaat. De specifieke afweging tussen kosten en tijd via de tijdwaardering is een belangrijke parameter in het verplaatsings-keuzegedrag. In onderstaande tabel zijn de waarden weergegeven zoals die door Verkeer & Waterstaat worden voorgesteld voor de evaluatie van investeringen in infrastructuur. De verschillen tussen de vervoerwijzen worden veroorzaakt door de verschillen in de aandelen van inkomensgroepen per vervoerwijze. Verder valt op dat de langzame vervoerwijzen buiten beschouwing zijn gelaten. Vandaar ook het ontbreken van een totaalwaarde.

	Woon-werk	Zakelijk	Overig	Totaal
Auto	8,83	28,58	5,69	9,22
Trein	8,31	17,59	5,12	6,55
Bus en tram	7,86	13,44	4,90	5,75
Alle vervoerwijzen	8,20	27,56	5,47	

TABEL 6.1: TIJDWAARDERING PER MOTIEF EN PER VERVOERWIJZE [€/H] (EXCLUSIEF LOPEN EN FIETSEN, HERLEID TOT PRIJSPEIL 2006) [BRON: VERKEER & WATERSTAAT (2000)]

Het verplaatsingsoffer bij het goederenvervoer is op een soortgelijke wijze opgebouwd. De afzonderlijke kenmerken h zijn afhankelijk van het te vervoeren goed, de gekozen vervoerwijze(n) en de verplaatsingskenmerken. Iedere verlader beoordeelt deze kenmerken h op een eigen wijze.

Kanttekening:

Merk op dat vervoerondernemingen, logistieke dienstverleners, overslagterminals en dergelijke leven van dit 'disnut'. Waar verladers en vervoerders trachten dit disnut te minimaliseren, zouden vervoerders het disnut feitelijk het liefst 'vergroten': met een uiterst efficiënt vervoersysteem valt niet veel te verdienen.

De verplaatsing zal alleen dan plaatsvinden als het nutssaldo $N_j - Z_{ij}$ positief is.

In het algemeen heeft een reiziger de mogelijkheid om voor meer dan één bestemming te kiezen en heeft een verlader de mogelijkheid zijn goederen naar verschillende afleveradressen te brengen. De beslissingnemer kiest het alternatief c dat hem het hoogste nut oplevert, het principe van subjectieve nutsmaximalisatie:

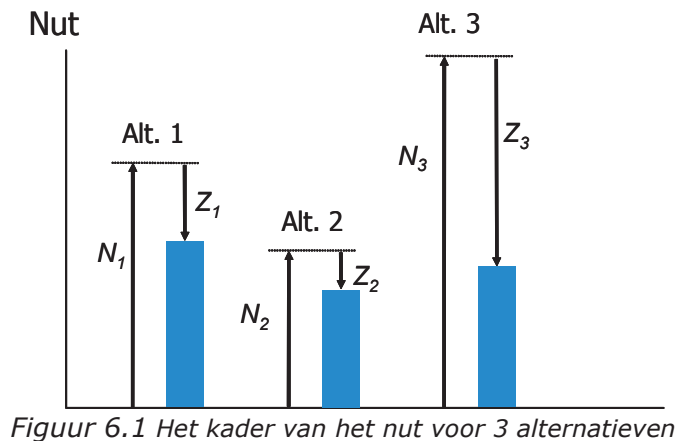
$$N_c = \max (N_j - Z_{ij}) \text{ (voor alle } j \text{)}$$

VERGELIJKING 6.5

Het salderen van nut N en offer Z maakt duidelijk dat de reiziger ook afwegingen maakt tussen kenmerken van de activiteit en van de verplaatsing. Het nut van een groter assortiment wordt

bijvoorbeeld afgewogen tegen de extra reistijd die dat kost. Bepaalde activiteiten leveren weliswaar een zeer hoog nut, maar vergen ook een groot offer om het te bereiken. Dat kan een reden zijn om dan maar een activiteit te kiezen die wat minder nut levert maar ook een veel minder groot offer vergt.

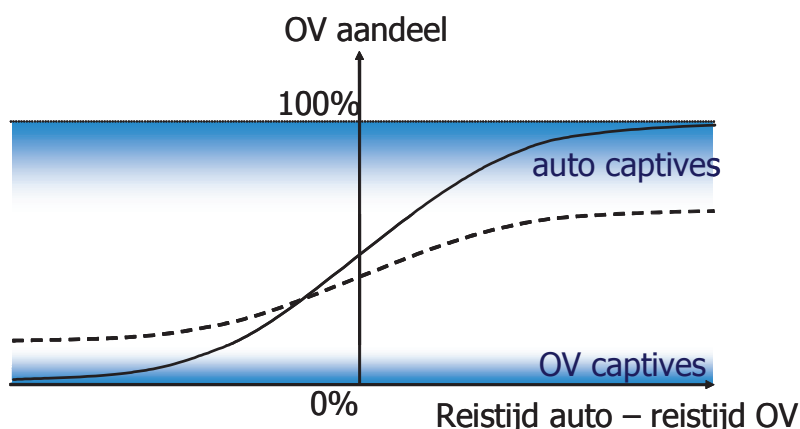
Stel dat iemand uit drie bestemmingen kan kiezen. Puur vanuit de activiteit gezien is alternatief 3 het meest aantrekkelijk. Als echter rekening wordt gehouden met het disnut van de verplaatsing, verandert het beeld. Volgens het principe van nutsmaximalisatie zou de reiziger voor alternatief 1 kiezen vanwege het hoogste netto nut en dus niet voor alternatief 3.



Figuur 6.1 Het kader van het nut voor 3 alternatieven

In het geval van vervoerwijzekeuze of routekeuze wordt de situatie enigszins gewijzigd. Het nut verbonden aan de diverse alternatieven zal gelijk zijn aangezien alle alternatieven de reiziger naar dezelfde plaats voor dezelfde activiteit brengen. In dat geval vereenvoudigt het nutsmaximalisatiemodel in het concept van disnutminimalisatie.

Natuurlijk is er variatie in de vrijheid die reizigers hebben in hun keuze. Kijkend naar vervoerwijze zou het kunnen zijn dat een groep reizigers niet beschikt over een auto (geen rijbewijs en/of auto) of, het tegengestelde, dat reizigers openbaar vervoer niet als relevant alternatief beschouwen (bagage, voorkeur). Dit zorgt ervoor dat verschil in kwaliteit tussen auto's en openbaar vervoer niet leidt tot een bereik van openbaarvervoer gebruikers tussen 0% tot 100%, maar tot een veel kleinere bandbreedte (zie Figuur 6.2).



FIGUUR 6.2 OPENBAAR VERVOERAANDEEL ALS FUNCTIE VAN HET VERSCHIL IN REISTIID TUSSEN AUTO EN OPENBAAR VERVOER

Het nutsmaximalisatiemodel is ook de basis voor het veelgebruikte Logit model (zie bv. Ben-Akiva & Lerman, 1985), dat ook in micro-economisch en marketingonderzoek wordt gebruikt. Men veronderstelt dat het nut van een alternatief (U_i) wordt beschreven door meetbare en waarneembare componenten (V_i), bv. een lineaire verhouding van kenmerken van een alternatief, en een foutenterm (ε_i), die niet waargenomen componenten en fouten in de observatie afvangt:

$$U_i = V_i + \varepsilon_i$$

Het vergelijken van alternatieven impliceert het vergelijken van nut, met inbegrip van de foutentermen. Dus is alternatief i aantrekkelijker als zijn totaal waargenomen nut groter is dan dat van alternatief j :

$$V_i + \varepsilon_i > V_j + \varepsilon_j$$

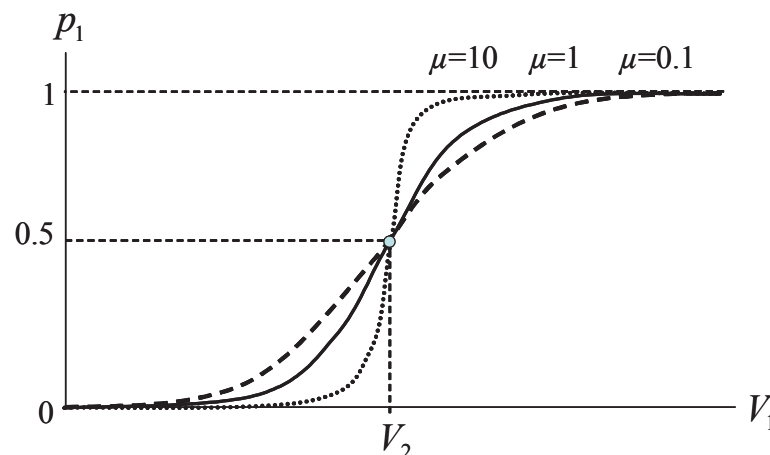
Zoals eerder gesteld kan het waargenomen nut worden beschreven met behulp van een gewogen som van de kenmerken van de alternatieven:

$$V_i = \sum_k \beta_k \cdot X_k$$

Men zou kunnen veronderstellen dat ε normaal verdeeld is. Gewoonlijk wordt een iets andere verdeling gebruikt, namelijk een Gumbell verdeling die een beter te hanteren wiskundige formulering oplevert. De kans van optreden van alternatief i kan dan worden uitgedrukt als:

$$P_i = \frac{\exp(\mu \cdot V_i)}{\sum_j \exp(\mu \cdot V_j)}$$

Waarin μ een schaalfactor is die de gevoeligheid van de reiziger voor de verschillen in nut vertegenwoordigt: een hoge waarde leidt tot een sterke gevoeligheid, terwijl een lage waarde ongevoeligheid met betrekking tot het nut betekent (zie Figuur 6.3).



FIGUUR 6.3 GEVOELIGHEID VAN KEUZEPROCESSEN DOOR VERSCHILLENDE WAARDEN VAN DE SCHAALPARAMETER

Een schalingsparameter zou dimensieloos moeten zijn, maar aangezien in deze formulering de schaalparameter altijd wordt vermenigvuldigd met de gewichten β_k , die niet dimensieloos zijn, worden zij soms door elkaar gehaald: dat wil zeggen er wordt geen β_k gespecificeerd en μ wordt een dimensie toegewezen, of μ wordt gelijkgesteld aan 1 terwijl β_k wordt geschat en zo de keuzegevoeligheid vertegenwoordigt. Het is belangrijk om je te realiseren dat de coëfficiënten van een nutsfunctie slechts voor het bereik van attributen kunnen worden gebruikt waarvoor zij geschat worden. Dit is toe te schrijven aan het feit dat het Logit-model gevoelig is voor de verschillen in nut tussen alternatieven. Bijvoorbeeld in het geval van routekeuze voor voetgangers, waarbij parameter β_k wordt geschat als $-0.04/\text{m}$ (veronderstellend dat μ gelijk is aan 1) bij het beschouwen van reisafstanden tot 3 kilometer. Toepassing van deze parameters bij uitzonderlijke reislengten zoals 30 kilometer leidt tot onlogische resultaten. Tot slot, merk op dat in het geval van bestemmingskeuze het nut positief is, terwijl in vervoerwijzekeuze en routekeuze het nut negatief is.

Het Logit-model is een basisonderdeel van de toolkit van de vervoermodelleur. Het is echter ook een nuttig hulpmiddel voor een snelle analyse van mogelijke gevolgen van maatregelen, bijvoorbeeld het introduceren van tol. Natuurlijk, in dat geval zijn geen gekalibreerde parameters beschikbaar, maar een ruwe schatting kan al nuttig inzicht geven.

6.2 Modelvorming vervoervraag en verkeersvraag

De voorgaande paragraaf heeft nutsmaximalisatie als een belangrijk principe in de modellering van vervoer en verkeer laten zien. Voor veel praktische vragen is een andere benadering noodzakelijk waarbij expliciet rekening wordt gehouden met het grote aantal keuzen dat wordt gemaakt.

In de verkeerskundige praktijk is er een groot aantal vragen waarop een antwoord moet worden gegeven, bijvoorbeeld:

- Hoeveel verkeer komt er op deze weg?
- Wat is het gebruik van de nieuwe OV-lijn?
- Wat gebeurt er bij die nieuwbouwlocatie?
- Wat is het effect van een stijging van de brandstofprijs?
- Wat is het effect van parkeerbeleid?
- Wat is het effect van toeritdosering of van DRIP's (Dynamische Route Informatie Panelen)?

Om dergelijke vragen te beantwoorden is kennis en inzicht over de markten van verkeer en vervoer noodzakelijk. Voor een indicatief antwoord kan dit ook voldoende zijn. De werking van deze markten is echter complex. Er zijn veel actoren, zoals personen, bedrijven en overheden, die allerlei keuzen maken die van invloed zijn op het verplaatsingsgedrag. Veel van die keuzeprocessen zijn onderling afhankelijk. Daarnaast is er nog onvoldoende inzicht in de werking van al die keuzeprocessen, als dat al mogelijk is. Ook beïnvloeden de keuzen elkaar. Veel verplaatsingskeuzen zijn bijvoorbeeld afhankelijk van de reistijd, maar diezelfde reistijd is juist het gevolg van al die keuzen. En als alle keuzeprocessen beschreven konden worden, dan zijn veel gegevens noodzakelijk om de gestelde vragen te kunnen beantwoorden. Daarom zijn voor preciezere, kwantitatieve, antwoorden en voor complexere vragen zoals een verkeerscirculatieplan of een regionaal of nationaal verkeersbeleidsplan, andere hulpmiddelen noodzakelijk: vervoer- en verkeersmodellen.

Een model is altijd een vereenvoudiging van de werkelijkheid. Er wordt een keuze gemaakt voor een selectie van invloedsfactoren en een vereenvoudigde omschrijving van een selectie van mechanismen. Deze vereenvoudigingen leiden ertoe dat een vervoer- en verkeersmodel geen exacte waarden geeft voor nieuwe situaties, zeker niet als het gaat om prognoses voor een langere termijn. De grote kracht van vervoer- en verkeersmodellen ligt primair in het systematisch vergelijken van varianten.

In deze paragraaf wordt ingegaan op de structuur van verkeers- en vervoermodellen. Aan bod komen de hoofdstructuur, namelijk de onderdelen:

- Productie en attractie,
- Bestemmingskeuze,
- Vervoerwijzekeuze
- Routekeuze.

Tevens wordt ingegaan op het gebruik van modellen. Tot slot komt de relatie met vervoer- en verkeersgegevens aan de orde. Voor meer informatie wordt verwezen naar Bovy et al. (2006) en Ortúzar & Willumsen (2001).

6.2.1 Vervoer- en verkeersmodellen personenvervoer

Een vervoer- en verkeersmodel beschrijft op een systematische wijze de verschillende markten van het vervoer- en verkeerssysteem. Een compleet vervoer- en verkeersmodel bestaat uit algoritmen voor de keuzeprocessen in de verschillende markten én de bijbehorende gegevens zoals netwerken, herkomst- en bestemmingstabellen en parameters. Voorbeelden van dergelijke modellen zijn:

- Het Landelijk Model Systeem (LMS) waarmee het nationale vervoer- en verkeersbeleid wordt doorgerekend;
- Een Nieuw Regionaal Model (NRM) van een Regionale Directie van Rijkswaterstaat. Zo'n model wordt bijvoorbeeld gebruikt als basis voor tracéstudies en voor openbaar vervoerstudies;
- Een stedelijk modelsysteem van een gemeente, bijvoorbeeld voor het analyseren van verkeerscirculatiemaatregelen.

In deze context is een vervoer- en verkeersmodel meer dan alleen het softwarepakket waarmee een model kan worden gemaakt, zoals bijvoorbeeld Omnitrans, Questor, VISSIM/VISUM of Cube Voyager (TRIPS). Een vervoer- en verkeersmodel is ook meer dan het concept van het Nieuw

Regionaal Model zoals dat door de Dienst Verkeer en Scheepvaart van Rijkswaterstaat is ontwikkeld. Dit concept bevat alleen definities en hulpmiddelen of een toolkit, maar nog niet alle data die bij een compleet model hoort.

De invoer van een vervoer- en verkeersmodel bestaat met name uit een beschrijving van de ruimtelijke structuur (inwoners, arbeidsplaatsen en dergelijke) en van het vervoer- en verkeerssysteem (wegennetwerk en OV-netwerken).

Een vervoer- en verkeersmodel beschrijft de processen die van invloed zijn op verplaatsingen. Deze procesbeschrijving kan puur beschrijvend zijn zonder echte causale verbanden of kan gebaseerd zijn op werkelijk keuzegedrag. In theorie zou dat laatste op het niveau van de individuele actoren moeten gebeuren. Op dit moment worden modellen ontwikkeld die dat doen maar voor deze aanpak zijn supercomputers noodzakelijk. In de praktijk is een beschrijving van het keuzegedrag in het vervoer- en verkeerssysteem op geaggregeerd niveau dan ook gebruikelijk;

- Geografisch in de vorm van zones, dat wil zeggen deelgebiedjes met bij voorkeur homogene karakteristieken ten aanzien van sociaal-economische karakteristieken. Veel zone-indelingen zijn gebaseerd op de postcode-indeling;
- Vervoerkundig in de vorm van motief en vervoerwijze. Met behulp van het verplaatsingsmotief kunnen allerlei karakteristieken die van invloed zijn op het keuzeproces worden gegroepeerd. Veel voorkomende indelingen voor het verplaatsingsmotief zijn werk, zakelijk, studie, winkel en overig. Het grote scala aan vervoerwijzen en combinaties van vervoerwijzen wordt veelal geaggregeerd tot de vervoerwijzen auto, met of zonder onderscheid tussen bestuurder en passagier, openbaar vervoer en langzaam verkeer.

De uitvoer van een vervoer- en verkeersmodel bestaat onder andere uit:

- Herkomst- en bestemmingstabellen per motief en/of vervoerwijze;
- Netwerken met aantallen voertuigen en/of personen per schakel;
- Kentallen vervoer- en verkeerssysteem:
 - reizigerskilometers, voertuigkilometers, reistijden, congestiekansen;
- Kentallen effecten van het verkeer:
 - verkeersveiligheid, milieu.

De modellering in een vervoer- en verkeersmodel

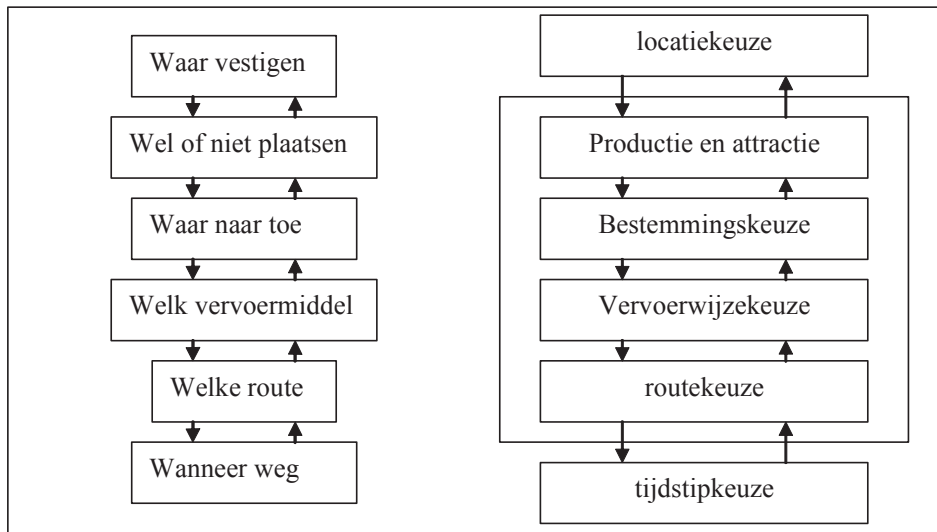
Zoals eerder gezegd, kunnen in het ruimtelijke en in het transportsysteem de volgende keuzeprocessen worden benoemd:

- Keuze om ergens te vestigen;
- Keuze om elders activiteiten te gaan uitvoeren;
- Keuze van de locatie waar die activiteit wordt uitgevoerd;
- Keuze van een vervoerwijze;
- Keuze van een route;
- Keuze van het vertrektijdstip.

De volgorde van deze keuzeprocessen is niet louter toevallig. De gesuggereerde hiërarchie kan deels worden verklaard met de tijdsduur waarbinnen een keuze kan worden gewijzigd. In Amsterdam is begin 90-er jaren de Zeeburgertunnel geopend, waarmee de ringweg rond Amsterdam werd gecompleteerd. In dit kader is een uitgebreide voor- en nastudie uitgevoerd. Hieruit bleek dat als eerste veranderingen optraden in routekeuze en in tijdstipkeuze. Weggebruikers die voor de opening vroeger of later dan hun gewenste vertrektijdstip vertrokken om de hinder van de congestie te beperken, kozen weer voor hun oorspronkelijke voorkeur vertrektijdstip. De aandelen van de spitsperiodes werden hierdoor groter. Op wat langere termijn zijn duidelijke veranderingen in vervoerwijzekeuze en bestemmingskeuze geconstateerd. De vervoerwijzekeuze wordt bijvoorbeeld beïnvloed door de gekozen kaartsoort, zoals een maand- of een jaarabonnement. Bij de bestemmingskeuze kan onderscheid worden gemaakt naar motieven die pas op lange termijn worden beïnvloed, zoals werk, en naar motieven waarbij op korte termijn al veranderingen mogelijk zijn, bijvoorbeeld winkelen en recreatie. Voor vestigingskeuze, tenslotte, is de veranderingstijd nog groter. Nogmaals, deze logica waarmee de keuzeprocessen zijn geordend, impliceert overigens niet dat het persé zo is. Er zijn koppelingen en afhankelijkheden tussen keuzeprocessen. Niet alle keuzen passen in een dergelijk rationeel raamwerk. Het belangrijkste punt is dat deze structurering een goed houvast biedt om de complexe processen hanteerbaar te maken.

In een vervoer- en verkeersmodel wordt veelal uitgegaan van een gegeven ruimtelijke ordening. De vestigingskeuze wordt dan buiten beschouwing gelaten. Verder hebben de meeste vervoer- en

verkeersmodellen betrekking op een etmaal of een spitsuur. De keuze van het vertrektijdstip is dan minder van belang. In Figuur 6.4 zijn de keuzeprocessen nog eens kort weergegeven. De keuzemodellen die in een vervoer- en verkeersmodel worden beschreven zijn omkaderd.

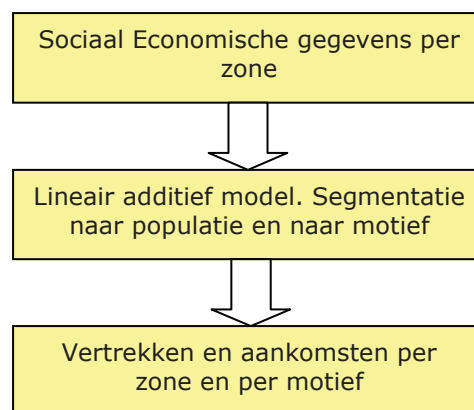


FIGUUR 6.4: KEUZEPROCESSEN IN HET VERVOER- EN VERKEERSSYSTEEM

6.2.2 Onderdelen van het vervoer- en verkeersmodel

In deze paragraaf worden de vier keuzemodellen die in een vervoer- en verkeersmodel worden gebruikt kort beschreven. Per keuzemodel komen aan de orde: de invoer, de uitvoer en de voornaamste karakteristieken van het keuzemodel zelf.

Het *productie en attractiemodel* berekent het aantal vertrekken en aankomsten per zone per motief per tijdsperiode (etmaal of spitsperiode) (Figuur 6.5). De invoer bestaat uit sociaal economische gegevens zoals inwoners en arbeidsplaatsen. In het algemeen worden de productie en de attractie berekend met eenvoudige lineaire functies.



FIGUUR 6.5: OVERZICHT PRODUCTIE EN ATTRACTIEMODEL

De termen productie en attractie wijzen erop dat het vervoer- en verkeersmodel verplaatsingen beschrijft met een duidelijke herkomst (productiekant) en bestemming (attractiekant). Dit geldt voor de meeste modellen. Een uitzondering is het Landelijk Model Systeem waarin gebruik wordt gemaakt van tours ofwel verplaatsingsketens. In het LMS worden alleen eenvoudige tours beschouwd, dat wil zeggen van huis naar een activiteit en terug. Productie heeft dan betrekking op de woningzijde (de herkomst van een verplaatsingsketen) en de attractie op de attractiviteit van activiteitenlocaties ofwel bestemmingen. Deze methodiek wordt nu ook in het nieuwe NRM gebruikt.

Productie en attractieformules kunnen worden geschat op basis van MON-gegevens. Een voorbeeld van productie- en attractieformules is weergegeven in Tabel 6.2.

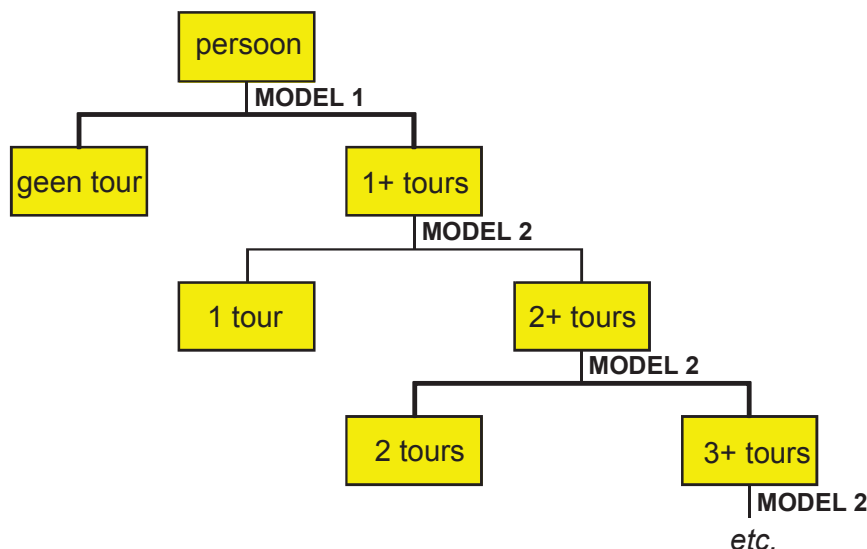
Motief	Formule
Werk	$0,9 \cdot \text{beroepsbevolking} + 0,9 \cdot \text{arbeidsplaatsen}$
Zakelijk	$0,5 \cdot \text{arbeidsplaatsen}$
Studie	$0,2 \cdot \text{huishoudens} + 1,9 \cdot \text{leerlingplaatsen}$
Winkel	$1,0 \cdot \text{huishoudens} + 15,6 \cdot \text{arbeidsplaatsen detailhandel}$
Overig	$3,5 \cdot \text{huishoudens}$
Totaal	$6,5 \cdot \text{huishoudens} + 2,9 \cdot \text{arbeidsplaatsen}$

TABEL 6.2: VOORBEELD PRODUCTIE/ATTRACTIEFORMULES VOOR AANTAL PERSONENVERPLAATSINGEN IN EEN ETMAAL

Voor de productie en attractie voor de auto bijvoorbeeld kunnen dergelijke formules worden aangevuld met de modal split per motief. Bij de bepaling van de aankomsten en vertrekken voor de spitsperioden gaat de asymmetrie een rol spelen. Voor een ochtendspitsmodel is het logisch dat vooral het aantal inwoners bepalend is voor de vertrekken (productie), terwijl de arbeidsplaatsen bepalend zijn voor de aankomsten (attractie). Bij een avondspitsmodel is dat juist andersom.

Het regressiemodel is een voorbeeld van een geaggregeerd model. De analyse-eenheid is de zone met attributen. In het LMS (Hague Consulting Group, 2000) daarentegen zijn het individu en het huishouden de analyse-eenheid voor de productie berekening. Het productiemodel bepaalt het aantal tours of reizen (verplaatsingketens met 2 verplaatsingen) en is verdeeld in drie keuzemodellen: rijbewijsbezit, autobezit en reisfrequentie. Het LMS kent geen apart attractie-model. De aankomsten worden onder andere met behulp van attractiefactoren simultaan met de bestemmingskeuze berekend.

Bij de berekening wordt gebruik gemaakt van logit-keuzemodellen die de keuze beschrijven voor wel of niet een rijbewijs bezitten, een auto bezitten en een tour maken. In het geval van tours kunnen natuurlijk ook meer tours per dag worden gemaakt. Daarom zijn ook keuzemodellen opgenomen voor de keuze het bij een tour te laten of een tweede te ondernemen, enz. (Figuur 6.6). Een soortgelijke aanpak geldt ook voor het aantal rijbewijzen en auto's per huishouden.



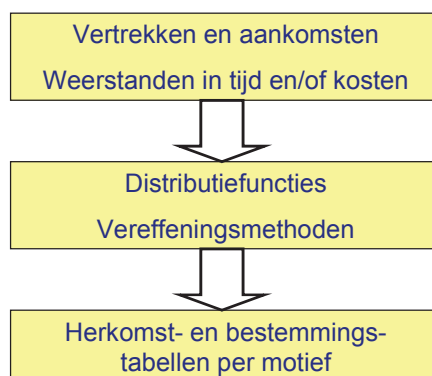
FIGUUR 6.6: STOP AND GO MODEL VOOR HET AANTAL TOURS OFWEL REIZEN PER PERSOON

In Tabel 6.3 zijn de productie- en attractievariabelen weergegeven zoals die in een Nieuw Regionaal Model vaak worden gebruikt en zoals die in het LMS worden gebruikt. Overigens worden in de nieuwe NRM's tegenwoordig dezelfde modelformuleringen en dus dezelfde variabelen gebruikt als in het LMS.

"NRM" (trips per zone)	LMS (tours per huishouden en per persoon)	
Productie- en attractiefactoren	Productiefactoren voor rijbewijsbezit, auto-bezit en reisfrequentie	Attractiefactoren
Beroepsbevolking Arbeidsplaatsen Huishoudens Leerling-plaatsen Detailhandel	Huishoudsamenstelling Inkomen Opleidingen Aantal werkenden Geslacht Leeftijd Aantal kinderen Ligging in Randstad Grootte woongemeente	Arbeidsplaatsen Bevolkingsomvang Leerling-plaatsen Detailhandel Bevolkingsdichtheid Werkgelegenheidsdichtheid Centrumfunctie

TABEL 6.3: INVOERVARIABLEN VOOR PRODUCTIE- EN ATTRACTIEMODELLEN IN (OUDE) NRM EN LMS

Opvallend is dat vervoer- en verkeerssysteem zelf niet van invloed is op de productie en attractie. Dit is gebaseerd op het feit dat het aantal verplaatsingen per persoon per dag vrij constant is (denk aan de BREVER-wet). Verder wordt verondersteld dat de aanbodkwaliteit van het vervoer- en verkeerssysteem beperkt varieert. Dit is een redelijke veronderstelling voor het autosysteem en fietssysteem in Nederland en daarmee ook voor het gehele vervoer- en verkeerssysteem. Bij het openbaar vervoer zijn de verschillen echter fors: denk maar aan een stationslocatie versus een dorp in de polder. De productie en attractie voor OV kan dan ook niet op deze manier worden berekend, maar alleen als resultaat van een vervoerwijzekeuze-model.



FIGUUR 6.7: OVERZICHT VAN HET DISTRIBUTIEMODEL

Het *bestemmingskeuzemodel* of het *distributiemodel* verdeelt de berekende vertrekken over de berekende aankomsten. Het resultaat bestaat uit herkomst- en bestemmingsmatrices per motief per tijdsperiode (zie ook Figuur 6.7). De verdeling van de verplaatsingen is gebaseerd op de verschillen in de attractie en op de moeite die het kost om er te komen ofwel de weerstand, vaak uitgedrukt in reistijd en/of kosten. De weerstanden worden afgeleid uit de netwerken van de vervoerwijzen. In formule vorm wordt dit:

$$P_{ij} = Q_i * X_j * F_{ij}$$

Met

P_{ij} = aantal verplaatsingen tussen i en j

Q_i = productiefactor voor zone i

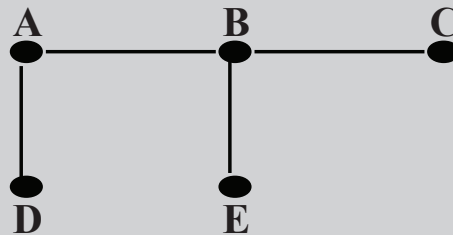
X_j = attractiefactor voor zone j

F_{ij} = distributiefunctie waarde voor de reisweerstand tussen i en j

Verder moet hierbij de som van alle verplaatsingen vanuit een zone gelijk zijn aan de berekende productie (vertrekken) en de som van alle aankomsten in een zone aan de attractie (aankomsten). Als de distributiefunctie omgekeerd evenredig is met het kwadraat van de afstand lijkt dit model op het bekende zwaartekrachtmodel. Voor verkeerskundige doeleinden is het realistischer om in plaats van afstanden reistijden te nemen.

VOORBEELD 7.1

We willen het aantal verplaatsingen tussen steden berekenen.
Gegeven is het volgende netwerk tussen de steden A tot en met E:



Met de volgende reistijden (of afstanden):

	A	B	C	D	E
A	0,75	1	2	1	2
B	1	0,75	1	2	1
C	2	1	0,75	3	2
D	1	2	3	0,75	3
E	2	1	2	3	0,75

Let op de reistijden binnen de steden. Deze zijn op 0.75 gesteld. Afhankelijk van de grootte van de zone, de netwerkstructuur en de vervoerwijzen kunnen hiervoor andere waarden worden gekozen.

De berekende vertrekken en aankomsten voor de verplaatsingen tussen de steden is gegeven in de volgende tabel (totaal aantal vertrekken is gelijk aan het totaal aantal aankomsten):

Zone	Vertrekken	Aankomsten
A	200	100
B	200	100
C	100	200
D	100	200
E	150	150
Totaal	750	750

Verder is gegeven dat de functie F_{ij} :

$$F_{ij} = \frac{1}{T_{ij}^2}$$

Als hiervoor de reistijden worden gebruikt, dan worden de waarden van de distributiefunctie als volgt:

	A	B	C	D	E
A	1,778	1,000	0,250	1,000	0,250
B	1,000	1,778	1,000	0,250	1,000
C	0,250	1,000	1,778	0,111	0,250
D	1,000	0,250	0,111	1,778	0,111
E	0,250	1,000	0,250	0,111	1,778

De waarden van Q_i en X_j zijn onbekend. Door nu deze steeds iteratief te bepalen kunnen we ze bepalen en tegelijkertijd de waarden van de HB-matrix berekenen (P_{ij}). In elke iteratiestap hebben we twee substappen:

- Verdeling van de berekende productie (vertrekken) over de rijen van de matrix
- Verdeling van de berekende attractie (aankomsten) over de kolommen van de matrix

Deze procedure wordt herhaald totdat de matrix niet meer verandert. Overigens moet dan wel de som van de vertrekken gelijk zijn aan de som van de aankomsten.

In de eerste iteratie geeft de eerste substep het volgende resultaat:

	A	B	C	D	E	Totaal
A	83,1	46,8	11,7	46,8	11,7	200,0
B	39,8	70,7	39,8	9,9	39,8	200,0
C	7,4	29,5	52,5	3,3	7,4	100,0
D	30,8	7,7	3,4	54,7	3,4	100,0
E	11,1	44,3	11,1	4,9	78,7	150,0
Totaal	172,1	198,9	118,4	119,6	141,0	

De totalen per rij komen overeen met de berekende productie (vertrekken)

De tweede stap geeft de volgende matrix als resultaat (nu komen de totalen per kolom overeen met de berekende attractie (aankomsten)).

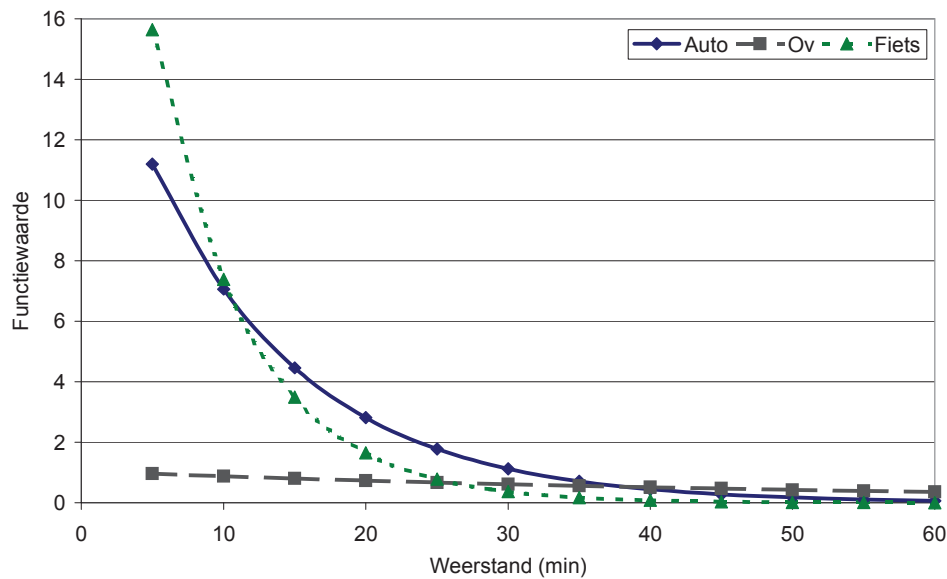
	A	B	C	D	E	Totaal
A	48,3	23,5	19,7	78,2	12,4	182,2
B	23,1	35,5	67,2	16,6	42,3	184,8
C	4,3	14,8	88,6	5,5	7,9	121,1
D	17,9	3,9	5,8	91,5	3,6	122,6
E	6,4	22,2	18,7	8,2	83,7	139,3
Totaal	100,0	100,0	200,0	200,0	150,0	

Zoals in de tabel is te zien, kloppen de totalen per rij nu niet meer, zodat extra iteraties nodig zijn. Na 7 iteraties is dit proces geconvergeerd: verder doorgaan verandert de matrix niet meer. Het resultaat is dan als volgt:

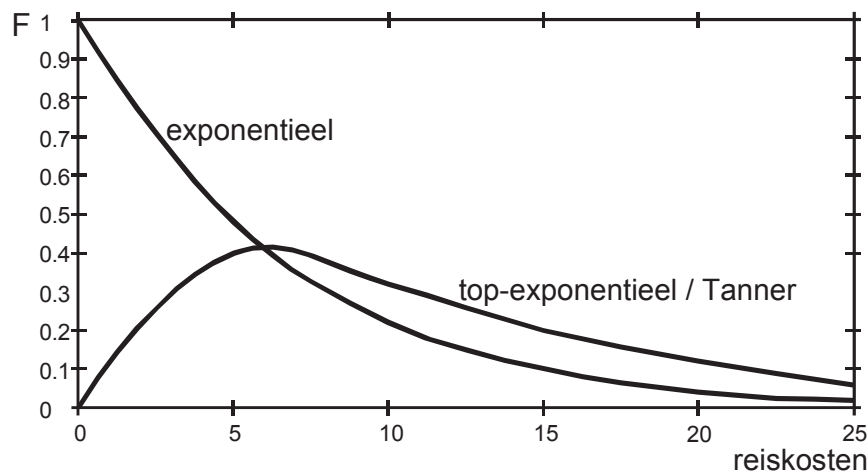
	A	B	C	D	E	Totaal
A	51,1	24,4	22,3	90,0	12,3	200,0
B	24,7	37,2	76,4	19,3	42,4	200,0
C	3,4	11,5	74,6	4,7	5,8	100,0
D	13,7	2,9	4,7	76,1	2,6	100,0
E	7,1	24,1	22,0	9,9	86,8	150,0
Totaal	100,0	100,0	200,0	200,0	150,0	

Dit proces is eenvoudig in Excel te programmeren. Zo is gemakkelijk na te gaan wat het effect op de HB-matrix is als invoergegevens zoals reistijden (inclusief intrazonale reistijden), distributiefuncties en aantallen vertrekken en/of aankomsten wijzigen.

Het algemene principe is dat hoe meer moeite een verplaatsing kost, hoe kleiner de kans op verplaatsingen. Dit wordt beschreven met distributiefuncties (Figuur 6.8), eveneens per motief. Een veelgebruikte functie is bijvoorbeeld de exponentiële functie, die gebaseerd is op het logitmodel. Deze heeft echter als nadeel dat voor korte afstanden, of beter gezegd lage weerstanden, de distributiefunctie hoge waarden heeft. Daarom worden vaak ook andere functievormen gebruikt (Figuur 6.9). Gegeven de waarden van de distributiefunctie worden de verplaatsingen met behulp van matrixvereffeningstechnieken verdeeld, zodanig dat de regel- en kolomtotalen overeenkomen met de berekende vertrekken en aankomsten.



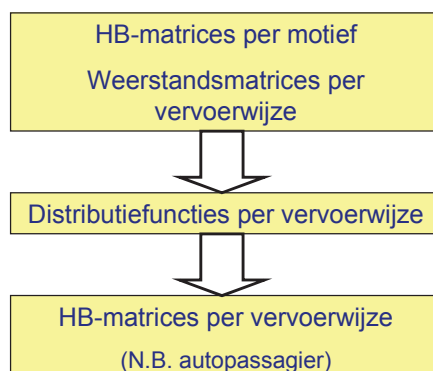
FIGUUR 6.8: VOORBEELD DISTRIBUTIEFUNCTIES OP BASIS VAN (GEWOGEN) REISTIID



FIGUUR 6.9: VOORBEELD EXPONENTIËLE DISTRIBUTIEFUNCTIE EN ALTERNATIEVE VORM

In het LMS wordt de bestemmingskeuze samen met de vervoerwijzekeuze gemodelleerd met behulp van logitmodellen. Bij de bespreking van de vervoerwijzekeuze wordt hier nader op ingegaan.

De *vervoerwijzekeuze* of *modal split* beschrijft de verdeling over de vervoerwijzen (Figuur 6.10). De invoer bestaat uit herkomst- en bestemmingsmatrices per motief en uit weerstandsmatrices. Met behulp van de distributiefuncties of met een apart keuzemodel (bijvoorbeeld een logit-model) worden vervolgens de herkomst- en bestemmingsmatrices per vervoerwijze berekend. Een apart aandachtspunt is het onderscheid tussen personen en voertuigen. Als er bijvoorbeeld alleen gekeken is naar de vervoerwijzen auto, openbaar vervoer en langzaam verkeer, dan beschrijft de herkomst- en bestemmingsmatrix auto het relatiepatroon voor alle personen die met de auto gaan: bestuurder en passagier. Er is dan een aparte omrekening nodig om de herkomst- en bestemmingstabel voor auto's te bepalen, bijvoorbeeld met behulp van de gemiddelde auto-bezetting.



FIGUUR 6.10: OVERZICHT VAN HET MODAL SPLITMODEL

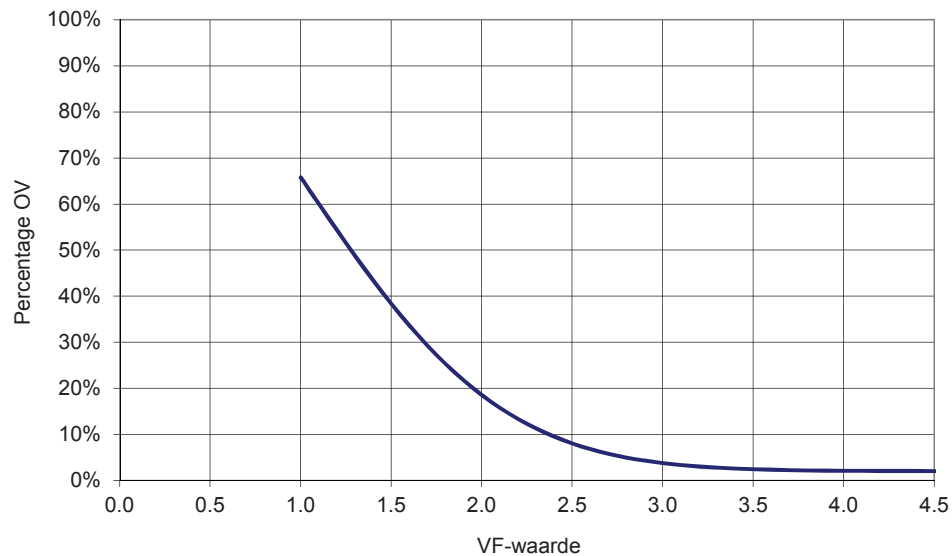
Gezien de grote overeenkomsten met het distributiemodel wordt de vervoerwijzekeuze in Nederland vaak simultaan met de bestemmingskeuze gemodelleerd. De vervoer kwaliteit is immers zo bepalend voor beide keuzeprocessen, dat het één niet los gezien kan worden van het ander. Het verschil met het distributiemodel is dat naast het onderscheid in motief ook onderscheid naar vervoerwijze wordt gemaakt.

NRM (per motief)	LMS (per motief)
Reistijd Reiskosten Parkeren Gewogen reistijd openbaar vervoer (incl. weging tijdelementen)	Reistijd in het OV Looptijd van en naar stations Wachtijd voor het OV Reiskosten (incl. tol en parkeren, c.q. tarief) Reisafstand Bevolkingsdichtheid Reisafstand langzaam verkeer Plus bestemmings- en persoons-karakteristieken

TABEL 6.4: INVOERGEGEVENS VOOR DISTRIBUTIE/MODAL SPLIT MODELLEN IN NRM EN LMS

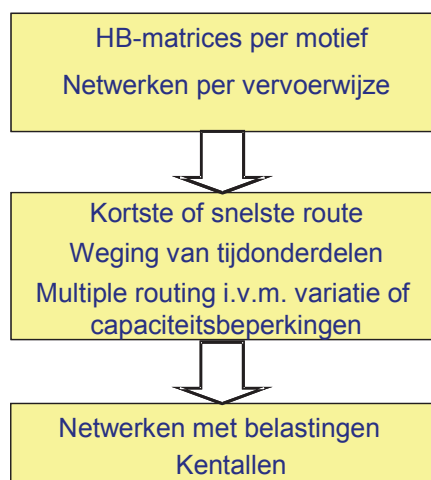
In Tabel 6.4 is een overzicht gegeven van de invoerfactoren voor de distributie- en modal splitmodellen zoals die vaak in een NRM en in het LMS worden toegepast. Let erop dat de openbaar vervoer reistijd vaak wordt gewogen met de relatieve waardering voor de afzonderlijke reistijdelementen: lopen, wachten en overstappen. Het is namelijk gebleken dat reizigers bij keuzeprocessen niet alleen de objectieve reistijd gebruiken, maar aan de verschillende onderdelen een subjectief gewicht geven. Klassieke waarden zijn een gewicht 2 voor looptijden en 3 voor wachten. Onderzoek in Nederland geeft lagere waarden: voortransport 1,1, wachten 1,5, natransport 1,1 en voor de overstap een penalty van 13,1 minuten (hierbij wordt geen onderscheid gemaakt naar lopen en wachten bij een overstap).

Naast de simultane benadering wordt soms ook alleen de vervoerwijzekeuze beschouwd. Een voorbeeld hiervan is de VF-kromme (Figuur 6.11, Van Goeverden & van den Heuvel, 1993). De VF-waarde is de verhouding tussen de reistijd per openbaar vervoer en de reistijd per auto. De reistijd per openbaar vervoer wordt dan niet gewogen met de waardering van de tijdelementen. Op grond van een analyse van een groot aantal verplaatsingen is een kromme afgeleid die het aandeel openbaar vervoer aangeeft als functie van deze reistijdverhouding. Bij een reistijdverhouding van 1,0 á 1,2 is het aandeel openbaar vervoer circa 60%. Bij een toenemende reistijdverhouding neemt het aandeel openbaar vervoer sterk af totdat het bij een reistijdverhouding van 3,5 stabiliseert op 2%. Een uitgebreidere vorm van de VF-kromme houdt naast de reistijdverhouding ook rekening met de frequentie en het wel of niet overstappen.



FIGUUR 6.11: VOORBEELD VAN EEN VF-KROMME MET DAARIN HET AANDEEL OV ALS FUNCTIE VAN DE VERHOUDING REISTIJD OV/REISTIJD AUTO (VAN GOEVERDEN & VAN DEN HEUVEL, 1993)

Het *routekeuzemodel* tenslotte berekent hoe de verplaatsingen het netwerk zullen belasten (Figuur 6.12). De invoergegevens zijn de herkomst- en bestemmingstabellen per vervoerwijze (het onderscheid naar motief is hier niet meer van belang) en de netwerken van de vervoerwijzen.



FIGUUR 6.12: OVERZICHT VAN HET ROUTEKEUZEMODEL

In het auto- of fietsnetwerk zijn bijvoorbeeld de volgende gegevens opgenomen:

- Lengte,
- Snelheid,
- Type weg,
- Capaciteit,
- Eigendom,
- Kruispuntgegevens.

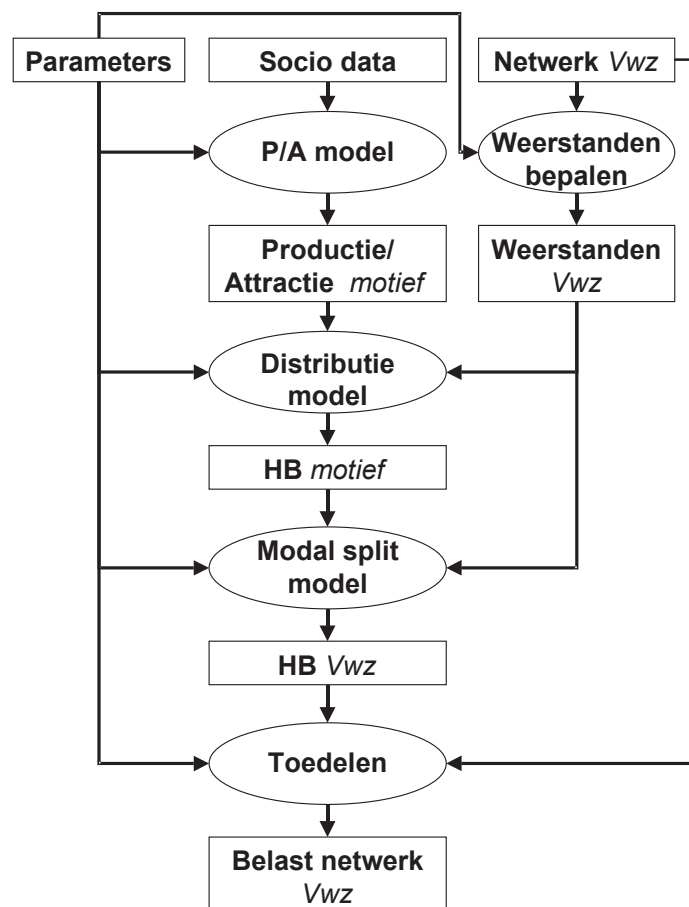
Bij openbaar vervoernetwerken gaat het vooral om deze attributen:

- Voor- en natransport lengte,
- Voor- en natransport snelheid,
- Route,
- Rittijden,
- Frequenties,
- Voertuigtype,
- Vervoerbedrijf.

Voor de toedeling zijn verschillende technieken mogelijk:

- Kortste of de snelste route (alles of niets). Tussen twee zones is er maar één route mogelijk. Dit is duidelijk een grote simplificatie maar de methode heeft rekenkundig grote voordelen: snel en goed analyseerbaar;
- Kortste of snelste route plus alternatieven (stochastisch routezoeken of multiple routing). Tussen twee zones zijn meer routes mogelijk, bijvoorbeeld door met behulp van loting de reistijd per wegvak te variëren. Op deze manier wordt rekening gehouden met de variatie in de waardering van verschillende routes en met beperkingen in de schematisering, bijvoorbeeld het gebruik van zones;
- Kortste of snelste routes plus alternatieven door capaciteitsbeperkingen (capacity restraint of evenwichtstoedeling). Bij deze methode wordt rekening gehouden met de extra reistijden die kunnen optreden bij congestie. Er wordt systematisch gezocht naar eventuele andere routes die voor een deel van het verkeer interessant zijn om de reistijdverliezen bij congestiepunten te beperken. Dit leidt tot een iteratief proces waarin telkens de snelheid op een wegvak wordt aangepast op basis van de verhouding tussen de intensiteit en de capaciteit.

Het resultaat bestaat uit netwerken met per wegvak of schakel, en bij openbaar vervoernetwerken per lijn, een belasting in de vorm van het aantal auto's of reizigers per tijdseenheid. Tot slot geeft Figuur 6.13 een overzicht van het 4-fasenmodel.



FIGUUR 6.13: OVERZICHT 4-FASEN MODEL (VWZ STAAT VOOR VERVOERWIJZE)

6.2.3 Gebruik van modellen

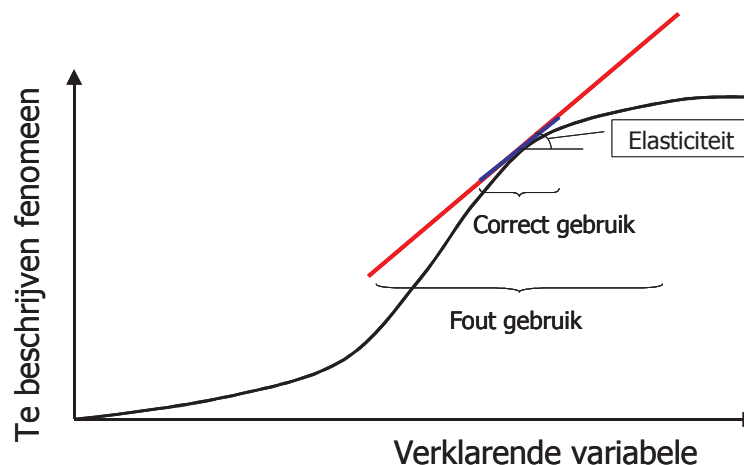
Een compleet vervoer- en verkeersmodel omvat alle vier de keuzemodellen met de bijbehorende gegevens. Met zo'n model kan een huidige situatie worden beschreven en kan een prognose voor een toekomstjaar worden gemaakt. Bij een prognose wordt berekend welke relatiepatronen en welke netwerkbelastingen het gevolg zijn van de verwachte ontwikkelingen in de ruimtelijke ordening en in het vervoer- en verkeerssysteem. Hierbij wordt verondersteld dat de keuzemodellen gelijk blijven. Een prognoseberekening is in deze zin altijd een extrapolatie van bestaande trends.

Om het effect van een specifieke maatregel te bepalen wordt een vergelijking gemaakt tussen de modelresultaten voor de situatie met en zonder de maatregel. Dit kan zowel voor de huidige situatie gebeuren als voor een toekomstige situatie. Het is afhankelijk van de vraagstelling of voor zo'n beoordeling alle vier de keuzemodellen worden gebruikt. Als we kijken naar de voorbeelden die in de inleiding zijn genoemd, dan kunnen de volgende opmerkingen worden gemaakt:

- Verkeer op een weg: bij een kleine wijziging in het wegennet kan vaak worden volstaan met een nieuwe toedeling. Worden meer effecten verwacht dan moet de distributie, de vervoerwijzekeuze en de routekeuze opnieuw worden uitgevoerd. De productie en attractie worden constant verondersteld;
- Gebruik van OV-lijn: ook hier kan soms met alleen een nieuwe toedeling worden volstaan, maar meestal zullen ook de vervoerwijzekeuze en de routekeuze opnieuw worden berekend. De effecten op de distributie zijn vaak beperkt;
- Nieuwbouwlocatie: Hiervoor zullen alle vier de modellen moeten worden gebruikt;
- Stijging van de brandstofprijs: de brandstofprijs heeft invloed op de weerstand, uitgedrukt in kosten, en beïnvloedt daarmee de bestemmingskeuze, de vervoerwijzekeuze en uiteindelijk het toedelingsresultaat;
- Parkeerbeleid: Het parkeerbeleid heeft vooral invloed op de distributie en op de vervoerwijzekeuze;
- Toeritdosering of DRIPs: Verkeersbeheersingsmaatregelen hebben vooral invloed op de routekeuze. Wel zijn hiervoor vaak gedetailleerdere modellen noodzakelijk dan hier zijn geschetst.

Bij het gebruik van modellen moet altijd worden bedacht dat de modelresultaten niet perfect overeenkomen met waarnemingen. Bij de bouw van een vervoer- en verkeersmodel zal men proberen deze verschillen te minimaliseren. Bij dit proces, de kalibratie, worden de parameters van de gedragsmodellen geschat, de netwerken gecorrigeerd en deels ook de berekende herkomst- en bestemmingsmatrices aangepast. Idealiter worden de resultaten van een gekalibreerd model vergeleken met onafhankelijke gegevens, de validatie. In de praktijk is dit vaak niet mogelijk omdat alle beschikbare data al in de kalibratie is gebruikt. In de schaarse gevallen waarin de modelresultaten wel met nieuwe gegevens zijn vergeleken, bleek er altijd sprake van duidelijke verschillen, soms meer dan gewenst. Een vervoer- en verkeersmodel is en blijft een schematisering van de werkelijkheid. De kracht van modeltoepassingen ligt dan ook niet zozeer in het exact kwantificeren van de mogelijke effecten maar in het inzichtelijk maken van deze effecten en in het onderling vergelijken van alternatieven.

Vanuit een praktische optiek vraagt het 4-fasenmodel erg veel data en levert het vaak veel additionele uitvoer op in vergelijking met de eigenlijke onderzoeksvraag. Simpele modellen en aanpakken zoals de VF-kromme en elasticiteiten zijn dan een welkom alternatief. Met elasticiteiten wordt het verschil in de ene grootte berekend als functie van een andere grootte, bijvoorbeeld automobilititeit (d.w.z. autokilometers) daalt met 5% als gevolg van een verhoging van de brandstofprijs met 10%. De elasticiteit van het autokilometrage voor de brandstofprijs is dan -0,5. Dergelijke elasticiteiten kunnen bijvoorbeeld worden afgeleid met behulp van een groot aantal modelberekeningen. Aandachtspunt hierbij is dat elasticiteiten alleen gebruikt mogen worden bij kleine variaties rondom de uitgangssituatie(Figuur 6.14)!



FIGUUR 6.14: BASISPRINCIPE VAN EEN ELASTICITEIT

Anderzijds is het in de praktijk vaak moeilijk de resultaten van een 4-fasenmodel in overeenstemming te brengen met waargenomen gegevens. Bij te grote verschillen worden snel vraagtekens gezet bij de kwaliteit van het model. Dit roept ironisch genoeg juist om nog gedetailleerdere modellen, die o.a. ook gebruikt kunnen worden voor verkeersmanagementstudies. Dit hogere detailniveau vraagt ook meer invoergegevens, die dan ook weer voor een toekomstsituatie noodzakelijk zijn. Door de onzekerheid over de juistheid van de benodigde invoer kan een dergelijk gedetailleerd model bij een prognose toch net zo onnauwkeurig zijn als een eenvoudiger model.

Naast het hier beschreven multimodale vervoer- en verkeersmodel worden ook andere modellen gebruikt. Voorbeelden zijn:

- Unimodale modellen in plaats van een multimodaal model, bijvoorbeeld alleen autoverkeer;
- Spitsuurmodellen met capaciteitstoedelingen versus etmaalmodellen met alles-of-niets toedelingen of met multiple routing;
- Dynamische modellen, waarin de routekeuze gedetailleerd gesimuleerd wordt en waarin bijvoorbeeld de vertrektijdspikeuze een rol speelt. Bij een simulatiemodel wordt het verkeersgedrag niet langer geaggregeerd maar op bestuurder-voertuig niveau beschreven. Verder zijn simulatiemodellen stochastisch, zodat een groot aantal simulaties noodzakelijk is om een representatief resultaat te bereiken;
- Goederenvervoermodellen, waarin de specifieke eigenschappen van goederen een rol spelen. Zo zijn de kosten vaak belangrijker dan de tijd, is de overslag (overstap) kostbaarder, is er sprake van andere routevorming (rondritten) en is er een duidelijke samenhang met de logistieke processen;
- Optimalisatiemodellen, waarin gezocht wordt naar optimale netwerken voor auto of openbaar vervoer;
- Mobiliteitsmodellen, modellen bedoeld voor vervoer- en verkeersbeleid, waarin, vaak op geaggregeerd niveau, mobiliteitskentallen worden berekend rekening houdend met beleidsopties.

6.2.4 Vervoer- en verkeersgegevens en modellen

Bij de bouw van modellen worden veel gegevens gebruikt. Die gegevens kunnen op verschillende manieren worden verzameld:

- Inventarisatie, eenvoudig waarnemen en tellen of aanvragen bij derden;
- Rittijd-/snelheidsmetingen, bijvoorbeeld met behulp van een meerrijdend voertuig;
- Verkeers- en vervoertellingen;
- Kentekenonderzoek (cordon/snede), ingaande en uitgaande kentekens noteren en analyseren in hoeverre dezelfde kentekens bij verschillende posten voorkomen;
- Weg- en OV-enquêtes, deze kunnen langs de weg worden afgenomen, direct worden uitgedeeld of achteraf worden verstuurd naar het adres behorende bij het kenteken. Op deze manier kunnen veel gegevens worden verzameld over de verplaatsing, de reiziger en specifieke onderwerpen;

- Huishoudenquêtes, hierin worden huishoudens ondervraagd over hun verplaatsingsgedrag in combinatie met hun huishoud- en persoonskenmerken;
- OVG en MON, ook een huishoudenquête, maar door zijn omvang en levensduur (vanaf 1978 beschikbaar) een aparte vermelding waard.

Voor het bouwen van de verschillende modellen zijn veel gegevens noodzakelijk. Bij het gebruik van praktijkdata is het belangrijk rekening te houden met de marges rond de data. Alle data zijn een steekproef in de tijd (een uur, een dag, een week) en in de ruimte (een wegvak, een wijk, een stad). Telcijfers hebben vaak betrekking op een beperkte periode en worden opgehoogd naar een gemiddelde dag. Bij kentekenonderzoek is een groot aantal fouten mogelijk waardoor de resultaten vaak een beperkte waarde hebben. Voorbeelden zijn de notatie van de kentekens, de selectie van voertuigen en de criteria waarmee kentekens tussen posten gekoppeld kunnen worden. Enquêtes hebben meestal betrekking op een beperkte steekproef. Dit betekent dat geaggregeerde informatie, zoals de verkeerssamenstelling op een wegvak, vaak nauwkeurig kan worden bepaald, maar dat gedetailleerde gegevens, zoals een herkomst- en bestemmingsmatrix op postcodeniveau, vaak onbetrouwbaar is. Zelfs een uitgebreid onderzoek, zoals het OVG en het MON, heeft op gedetailleerd niveau grote marges.

Elk van deze onderzoekstechnieken speelt bij modelbouw een eigen rol (zie ook Tabel 6.5). Voor het *productie- en attractiemodel* zijn sociaal economische gegevens noodzakelijk. Deze kunnen vaak met behulp van inventarisatie worden verkregen. Huishoudenquêtes, en met name het OVG, geven een goed inzicht in het aantal verplaatsingen per persoon. Soms kunnen verkeerstellingen worden gebruikt om de verkeersproductie (voertuigen!) te bepalen, bijvoorbeeld bij een gesloten cordon.

Bij het *distributiemodel* en bij het *vervoerwijzekeuzemodel* zijn verplaatsingsgegevens essentieel. Hiervoor zijn vooral huishoudenquêtes, en weer met name het OVG en het MON, van belang. Wegenquêtes zijn vaak beperkt tot een paar wegvakken en zijn hierdoor niet geschikt voor het schatten van distributiefuncties. OV-enquêtes kunnen soms wel een redelijk beeld van het verplaatsingspatroon geven, zeker als binnen een beperkte tijd alle lijnen zijn geënquêteerd. Kentekenonderzoek kan extra inzicht geven in de verhouding tussen bestemmingsverkeer en doorgaand verkeer.

Voor *toedelingsmodellen* zijn, naast netwerkgegevens die kunnen worden geïnventariseerd, uitgebreide gegevens over het routekeuzegedrag nodig. Hiervoor zijn weinig onderzoekstechnieken echt geschikt. Reistijdmeting geeft inzicht in de reistijden voor specifieke delen van het netwerk, maar zijn vaak te fragmentarisch. Kentekenonderzoek kan extra inzicht geven in de routekeuze, maar ook hier geldt dat het zeer fragmentarisch blijft. Hetzelfde geldt ook voor weg- en voor OV – enquêtes.

Bij de **kalibratie** spelen telcijfers vaak een belangrijke rol, zowel als toetsingsmateriaal als wel als invoergegeven voor matrixschattingsmodellen, waarin herkomst- en bestemmingsmatrices worden aangepast om een betere overeenkomst met telgegevens te bereiken. Wegenquêtes kunnen een extra controlemiddel zijn voor de verkeerssamenstelling op maatgevende punten. Huishoudenquêtes zoals het OVG en MON zijn vaak al gebruikt bij de schatting van de afzonderlijke modellen.

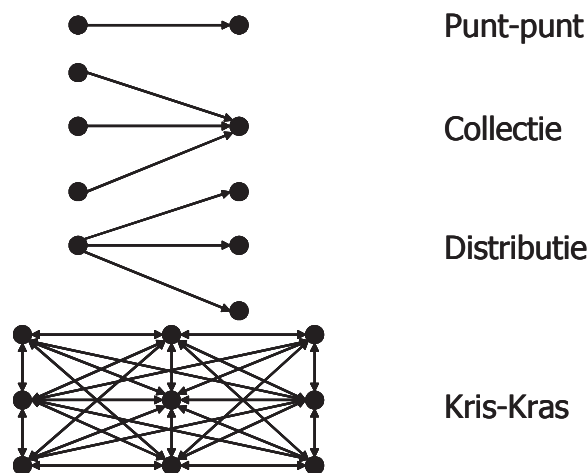
	Productie	Distributie	Modal split	Routekeuze
Inventarisatie van gegevens	Sociaal-economische gegevens			Netwerk-gegevens
Rittijd-metingen				Beperkt (selectie van routes en perioden)
Tellingen van personen of voertuigen	Gesloten cordon			
Kenteken-onderzoek		Hulpmiddel intern en extern verkeer		Beperkt
Wegenquêtes		Beperkt (steekproef omvang)		Beperkt
OV-enquêtes		Redelijk		Beperkt
Huisenquêtes	Goed (steekproef, extern verkeer)	Goed (steekproef, extern verkeer)	Goed (steekproef, extern verkeer)	
OVG/MON	Goed (steekproef)	Goed (steekproef)	Goed (steekproef)	

TABEL 6.5: OVERZICHT GEBRUIKSMOGELIJKHEDEN ONDERZOEKSTECHNIEKEN BIJ MODELBOUW (MET KANTTEKENINGEN)

7 INFRASTRUCTURELE NETWERKEN

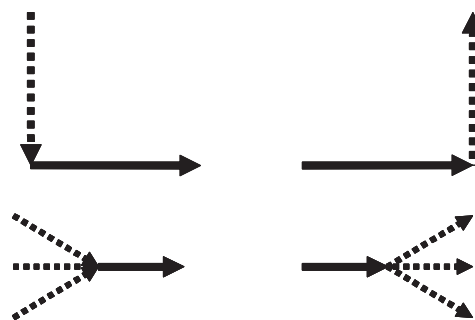
7.1 Inleiding

Netwerken zijn essentieel voor het transportsysteem. Zonder netwerken is geen transport mogelijk. Voor een goede analyse is het belangrijk goed onderscheid te maken tussen vraagpatronen, netwerken van vervoerdiensten en infrastructuurnetwerken. Vraagpatronen geven een beschrijving van de vraag in ruimte (en tijd). Typische voorbeelden zijn weergegeven in Figuur 7.1. Woon-werkverplaatsingen kenmerken zich iets meer door collectie en distributiepatronen (ochtend en avondspits) terwijl voor sociale verplaatsingen kris-kraspatronen meer relevant zijn.



FIGUUR 7.1: VOORBEELDEN VAN VRAAGPATRONEN

Om deze vervoervraag te faciliteren zijn netwerken van vervoerdiensten nodig. Die kunnen hetzelfde patroon volgen, maar vaak zijn ander netwerkvormen efficiënter. In het geval van collectie kan een voertuig eerst alle herkomsten langsgaan en pas daarna naar de bestemming rijden (zie Figuur 7.2). Een andere oplossing is dat kleine voertuigen naar een tussengelegen overslag/overstappunt gaan en dat voor het (langere) traject naar de bestemming een groot voertuig wordt gebruikt. Met dit soort vervoerdienstnetwerken neemt het aantal voertuigkilometers fors af.



FIGUUR 7.2: VOORBEELDEN VAN BUNDELING DOOR VERVOERDIENSTEN VOOR COLLECTIE (LINKS) EN DISTRIBUTIE (RECHTS)

Om deze vervoerdiensten te faciliteren zijn infrastructuurnetwerken nodig. De NS kan immers niet rijden als er geen spoor of spoorcapaciteit beschikbaar is. Ook hier geldt dat een infrastructuurnetwerk een afwijkende vorm kan hebben dan het vervoerdienstnetwerk, bijvoorbeeld omdat het infrastructuurnetwerk meer vervoerdiensten moet faciliteren. Consequentie is dat bij een gegeven infrastructuurnetwerk nog steeds een groot aantal vervoerdienstnetwerken mogelijk is.

In dit hoofdstuk staan infrastructuurnetwerken ofwel verkeersnetwerken centraal. Allereerst wordt in paragraaf 7.2 ingegaan op de algemene functionele indeling van netwerken en de vormen waarin zij voorkomen. Ook wordt de ligging van netwerken ten opzichte van kernen behandeld. In Deel 2 komt het ontwerpen van een infrastructuurnetwerk aan de orde komen. Allereerst zal

worden ingegaan op de ontwerpdilemma's die daarbij een rol spelen. Daarna worden enkele theoretische principes die bij het ontwerp een rol spelen behandeld. Het volgende hoofdstuk geeft een praktische ontwerpmethodiek voor netwerken.

7.2 Verkeersnetwerken

7.2.1 Functionele indeling netwerken naar schaalniveau

De functie van verkeersnetwerken is de verplaatsing van reizigers en vracht, fysiek mogelijk te maken hetzij door tussenkomst van vervoermiddelen hetzij direct. De bekendste typen infrastructuurnetwerken zijn het wegennet, het spoorwegennet en het netwerk van binnenvaartwegen. Een pijpleidingnetwerk is het bekendste voorbeeld van vervoer zonder tussenkomst van vervoermiddelen. Binnen een infrastructuurnetwerk zijn een aantal componenten te onderscheiden, infrastructuurelementen genaamd:

- *toegangspunten*: dit zijn plaatsen waar reizigers, vracht of vervoermiddelen het infrastructuurnetwerk kunnen binnengaan of verlaten. Voorbeelden zijn: op- en afritten van autosnelwegen, stations, parkeerplaatsen en overslagterminals.
- *schakels*: deze hebben primair tot doel de toegangspunten met elkaar te verbinden. Kernmerken van schakels zijn reistijden, reiskosten, en capaciteit (bijvoorbeeld 2000 vtg/h per rijstrook of 20 treinen/h per spoor).
- *knooppunten*: dit zijn plaatsen waar drie of meer schakels, behorende tot hetzelfde netwerk, bij elkaar komen, zoals een klaverblad van autosnelwegen of een splitsing van spoorbanen. Ook knooppunten hebben capaciteiten. Deze worden echter bepaald door de organisatie van het knooppunt.
- *buffer- en stallingsvoorzieningen*: deze hebben tot doel om voertuigen voor, tijdens en na het gebruik voor kortere of langere tijd te kunnen 'opbergen'.

Naast deze netwerkeigenschappen is er in de laag verkeersdiensten ook sprake van de regeling van het gebruik van het netwerk. Hierbij is te denken aan wie gebruik mag maken van de infrastructuur (rijbewijs, voertuigeisen), verkeersregels, verkeersregelingen, dynamische verkeersmaatregelen, venstertijden, milieuvignet, enzovoort.

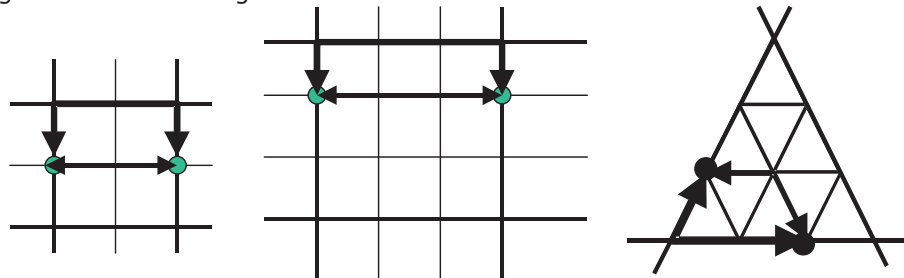
De toegangspunten van een infrastructuurnetwerk kunnen in eerste instantie als abstractie van kernen dan wel nederzettingen gezien worden. Kernen zijn niet allemaal van even groot belang. Kleine dorpen hebben een relatief grote lokale betekenis, maar hebben meestal geen belangrijke betekenis op nationaal niveau. Grote steden hebben zowel een grote lokale betekenis als een nationale of zelfs internationale betekenis. Kernen hebben dus een functie of beter gezegd functies op een bepaald ruimtelijk-functioneel schaalniveau. De te onderscheiden schaalniveaus zijn volgens Van Nes (2002) (inwoneraantallen zijn indicatief):

- Metropool: 10.000.000 inwoners
- Agglomeratie: 1.000.000 inwoners
- Stad: 100.000 inwoners
- Plaats: 10.000 inwoners
- Dorp: 1.000 inwoners

Ook binnen stedelijke kernen is een onderverdeling mogelijk in wijken, stadsdelen en 'steden'. In de literatuur zijn ook andere indelingen te vinden. Kernpunt is dat bepaalde functies een bepaalde massa nodig hebben om te functioneren en daarmee een relatie hebben met bijvoorbeeld het aantal inwoners. Bovendien willen dergelijke voorzieningen ook vaak bij elkaar in de buurt zitten. Dit is een van de agglomeratiefactoren. Een beroemd voorbeeld hiervan is het probleem van roomijsverkopers door H. Hotelling. Veronderstel een strand van 1 kilometer lang, met een gelijke verdeling van de gasten langs het strand. Er zijn twee roomijsverkopers die een identieke kwaliteit en verscheidenheid van roomijs verkopen voor dezelfde prijs. De vraag is waar zij hun zaken zullen neerzetten. Een logische oplossing zou zijn dat elk van hen 500 meter van het strand zou selecteren en zo een punt bij of 250 meter of 750 meter zal kiezen. Echter, als één van hen iets meer richting het midden beweegt, zal zijn marktaandeel ten koste van de ander stijgen. Daarom is het eerlijkste resultaat dat beide verkopers bij het midden van het strand worden gevestigd. In die situatie is de toegankelijkheid niet meer een concurrentiefactor.

Ook in verkeersnetwerken is sprake van schaalniveaus. Op zich is het snel duidelijk dat één soort netwerk niet geschikt is voor alle verplaatsingen, en met name niet geschikt voor alle verplaatsingsafstanden. In het algemeen betekent dit dat voor langere afstanden de reistijden te lang worden. Onderscheid maken naar verschillende netwerken die elk zijn toegesneden op specifieke afstandscategorieën leidt in principe tot kortere reistijden, en aangezien tijd ook geld is dus tot lagere reiskosten. Aangezien netwerken voor langere verplaatsingsafstanden grofmaziger zijn, zijn ook minimalisatie van investeringskosten, milieuoverlast en versnippering argumenten voor het onderscheiden van stelsels.

Het feit dat een onderscheid in stelsels logisch is, zegt echter nog niets over het aantal stelsels. Voor wegennetwerken is met een morfologische benadering een schaalfactor 3 gevonden, dat wil zeggen dat de maaswijdte (afstand tussen parallelle wegen) van een hoger orde stelsel een factor 3 groter is (De Jong (1988b)). Uit analyses van Van Nes (2002) blijkt dat een dergelijke schaalfactor vrij natuurlijk volgt uit de eigenschappen van wegennetwerken en het gebruik daarvan. Deze schaalfactor kan bijvoorbeeld worden onderbouwd door een analyse van maximale omrijfactoren bij een systeem van twee netwerkniveaus (Figuur 7.3). Het minimaal vereiste kwaliteitsverschil tussen de opeenvolgende netwerkniveaus wordt gevonden bij een schaalfactor 3. De gemiddelde snelheid op dat hogere orde netwerk is dan 50 % hoger voor driehoeksnetwerken en 67 % hoger voor rechthoekige netwerken.



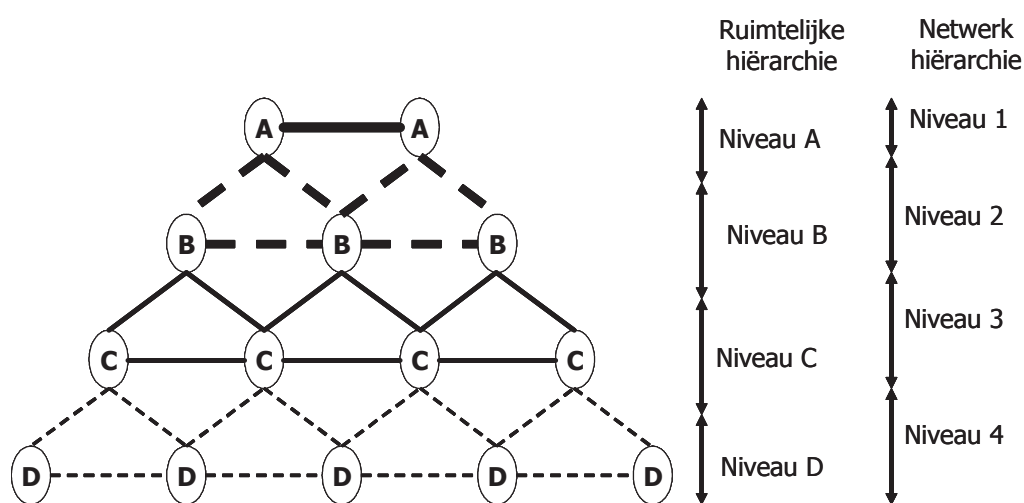
FIGUUR 7.3: VOORBEELDEN VAN MAXIMALE OMRIJROUTES VIA HOGER ORDE NETWERK

Een verklaring voor de factor 3 kan worden gevonden in de schaalniveaus voor de ruimtelijke structuur. Ook hier is op grond van morfologische kenmerken een schaalfactor 3 gevonden (De Jong (1988a)), een factor die overigens ook een plausibele verklaring heeft in agglomeratietheorieën. Dit betekent dat het onderscheid in stelsels voor het interlokale openbaar vervoersysteem direct wordt bepaald door het onderscheid in schaalniveaus van de ruimtelijke structuur. De koppeling tussen ruimtelijk schaalniveau en het schaalniveau van het netwerk heeft ook een logische verklaring. Een hoger schaalniveau netwerk heeft ook voldoende massa oftewel vervoervraag nodig om rendabel te kunnen zijn.

Indien als functioneel schaalniveau 'Nederland' wordt genomen, zijn de grote steden in de Randstad en eventueel Eindhoven de echte agglomeraties. Hieraan kunnen de internationale mainports Schiphol en de Rotterdamse haven worden toegevoegd (toegangspunten internationaal netwerk). Het volgende niveau zijn de steden met rond de 100.000 inwoners, enzovoort. In het algemeen is er een verband tussen schaalniveau en afstandklasse: naarmate een hoger schaalniveau in beschouwing wordt genomen, neemt de afstand tussen de belangrijke kernen (A-kernen) toe. Dit is echter niet altijd het geval, in sommige gevallen is de afstand tussen kernen van internationaal niveau (Londen en Parijs) van dezelfde orde grootte als de afstand tussen nationale kernen (Hannover-Stuttgart). Overigens is de verplaatsingstijd in functionele zin vaak belangrijker dan de verplaatsingsafstand.

Vervoer maakt verbindingen tussen kernen mogelijk; omdat niet elke kern van even groot belang is, is er ook sprake van een ruimtelijk-functionele afbakening van vervoerrelaties, van diensten en van infrastructuur. In aansluiting op het onderscheid tussen de verschillende kern-classes, wordt daarom onderscheid gemaakt tussen verschillende infrastructuurklassen (zie Figuur 7.4):

- infrastructuur die type A-kernen onderling verbindt, wordt hier aangeduid met klasse 1 infrastructuur;
- infrastructuur die type B-kernen verbindt met A-kernen en de B-kernen onderling, wordt hier aangeduid met klasse 2 infrastructuur;
- infrastructuur die type C-kernen verbindt met B-kernen en de C-kernen onderling, wordt aangeduid met klasse 3 infrastructuur;
- enzovoort.



FIGUUR 7.4: KERN-TYPEN EN INFRASTRUCTUURKLASSEN

Vanuit de optiek van een bepaald schaalniveau is infrastructuur die valt onder klasse 1, 2 of 3, te beschouwen als hoofdinfrastructuur voor dat bepaalde schaalniveau. In Tabel 7.1 is een aantal karakteristieken van de verschillende netwerkniveaus weergegeven. Merk op dat de hoogste netwerkniveaus niet zijn ingevuld. Dit komt doordat de vereiste snelheden niet mogelijk zijn. Bij het openbaar vervoer daarentegen wel, denk aan de Hoge Snelheidstreinen!

Netwerk niveau	Ruimtelijk schaalniveau	Maaswijdte [km]	Afstand toegangspunten [km]	Snelheid [km/h]
Stedelijk				
Straat	Wijk	1	0,3	20
Hoofdweg	Stadsdeel	3	1	35
Stadsautoweg	'Stad'	10	3	55
Interstedelijk				
Lokaal	Dorp	3	1	35-40
Regionaal	Plaats	10	3	60-70
Interregionaal	Stad	30	10	100-120
Nationaal	Agglomeratie	-	-	-
Internationaal	Metropool	-	-	-

TABEL 7.1: KARAKTERISTIEKEN VOOR SCHAALNIVEAUS IN WEGENNETWERKEN (VAN NES, 2002)

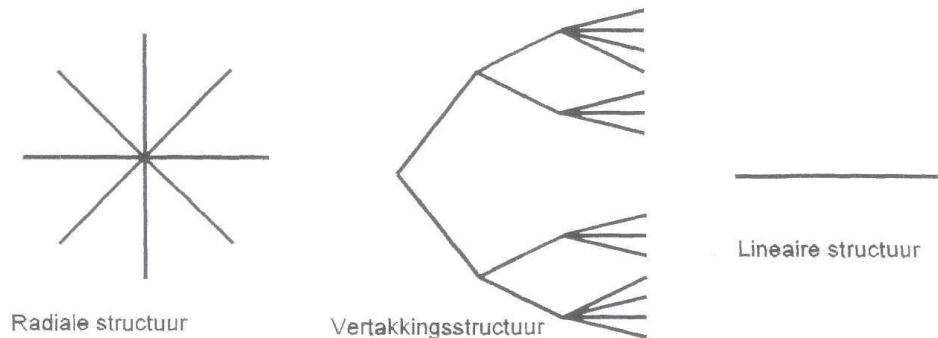
Vervoerrelaties op een hoger functioneel schaalniveau vereisen een hogere vervoer kwaliteit (snelheid, betrouwbaarheid); hoofdinfrastructuur moet daarom mogelijkheden bieden om deze hogere vervoer kwaliteit te kunnen bieden. Infrastructuur die vervoer mogelijk maakt tussen kernen die op een bepaald niveau van belang zijn (A-B, B-B), heeft een verbindende functie. Infrastructuur die vervoer mogelijk maakt tussen gebieden (en kernen) van een lager schaalniveau enerzijds en de verbindende infrastructuur anderzijds, heeft een ontsluitende functie. Infrastructuur die op een bepaald schaalniveau een ontsluitende functie vervult, kan op een lager functioneel schaalniveau een verbindende functie vervullen doordat dankzij deze infrastructuur vervoer mogelijk wordt tussen kernen die op dat lagere functionele schaalniveau van belang zijn. Hoofdwegen in een stedelijke agglomeratie verbinden de verschillende stadsdelen onderling, maar ontsluiten de stedelijke agglomeratie vanaf bijvoorbeeld het autosnelwegennet dat een verbindende functie heeft tussen de verschillende stedelijke agglomeraties.

Veel infrastructuur is multifunctioneel: op die infrastructuur vindt een bundeling plaats van soms sterk verschillende functionele vervoerrelaties. Zo functioneren bepaalde delen van het autosnelwegennet zowel voor verkeer over lange afstand als voor verkeer op regionale en stadsgewestelijke schaal. Hetzelfde geldt voor delen van het spoorwegennet. Veel trajecten worden zowel door intercity's als door stoptreinen gebruikt.

7.2.2 Netwerkvormen

De vorm die een netwerk heeft, is onder meer van invloed op de kwaliteit die geboden kan worden (omwegfactoren), de structurerende werking die van de infrastructuur uitgaat (wel of niet centraal gericht) en de vervoerfuncties die met een netwerk kunnen worden vervuld (wel of niet concentreren van stromen, wel of niet tweerichtingsvervoer toepasbaar). Tussen netwerkvorm en functie kan dus een duidelijke relatie bestaan; de vorm van een netwerk is daarom van wezenlijk belang. In eerste instantie kan onderscheid worden gemaakt naar open en gesloten netwerken.

Open netwerken



FIGUUR 7.5: OPEN NETWERKEN

In open netwerken zijn eindpunten niet direct, maar indirect via andere knooppunten, dus via een omweg, met elkaar verbonden. Vaak worden open netwerken gekenmerkt door een radiale structuur, waarbij er duidelijk sprake is van een centrale knoop. Een open netwerk zal dan de functie van de centraal gelegen kern benadrukken. Vaak komt het voor dat de radialen zich naar buiten toe vertakken. Kenmerkend blijft echter dat de eindpunten van een open netwerk niet direct met elkaar verbonden zijn. Er kunnen overigens twee bijzondere vormen van een open netwerk onderscheiden worden. Het eerste geval betreft een lineair of axiaal netwerk. Het tweede geval betreft een waaivormige vertakkingstructuur vanuit een (niet centraal gelegen) punt.

Open netwerken (kunnen) worden toegepast indien:

- Het verkeer in hoofdzaak is gericht van en naar een centrale kern, waarbij de relaties tussen nevenkernen van ondergeschikt belang zijn;
- Er sprake is van een laag schaalniveau, waarbij omwegen die optreden vanwege het ontbreken van directe verbindingen, niet zwaar wegen;
- Indien de omloopsnelheden (zeer) hoog zijn.

Een duidelijk voorbeeld van een stervormig net op een hoog schaalniveau is het Franse nationale spoorwegennet (met name het TGV-net); dit is in sterke mate gericht op Parijs. Ook het stadsgewestelijke RER-systeem van Parijs is in opzet stervormig met een knooppunt in het centrum van Parijs (Châtelet). Het netwerk van Parijse metrolijnen heeft een veel minder duidelijke radiale structuur; het is, in het bijzonder in het centrum van Parijs, op te vatten als een gesloten netwerk.

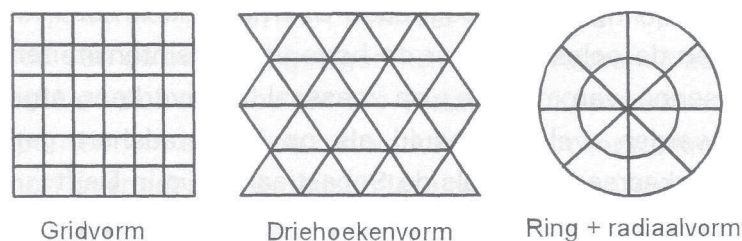
Op lager schaalniveau zijn radiale ontsluitingsstructuren vooral te vinden in steden die min of meer vanuit het centrum gelijkmatig organisch gegroeid zijn; alle hoofdwegen zijn op het centrum gericht. Bij radiale structuren is in principe het centrum het best bereikbare punt van het gehele stedelijk gebied; daar treedt dan ook de hoogste verkeersdruk op. Bij het autovervoer keert echter de wal het schip: daar waar de meeste activiteitsruimten gesitueerd zijn en er daarom de meeste ruimte en de hoogste verblijfskwaliteiten voor voetgangers moeten zijn, vragen ook verkeersintensiteiten de meeste ruimte.

Veelal zijn ter ontlasting van de hoge verkeersdruk op het centrum één of meer ringwegen toegepast. Daarnaast is in het verleden in bepaalde gevallen de oplossing voor de hoge verkeersintensiteiten gezocht door de realisering van nieuwe, op massaal autoverkeer afgestemde radialen; deze werden wel aangeduid als op het stadshart gerichte leven brengende verkeersaders, zoals de Sebastiaansbrug in Delft.

Algemeen geldt dat open netwerken weinig geschikt zijn voor situaties als er min of meer intensieve relaties tussen eindpunten bestaan. Dit geldt nog in sterkere mate indien het gaat om ruimte-intensieve verkeersstromen zoals bij het autosysteem. Open netwerken met een vertakkingstructuur zijn daarom slechts op het laagste niveau (straten met erffunctie) toepasbaar.

Zoals gesteld, is een lineair/axiale structuur een bijzondere vorm van de radiale structuur. De meest in het oog springende voorbeelden zijn de stedelijke gebieden die zijn ontstaan door lintbebouwing langs een (hoofd)- verkeersweg. Overigens zijn lineaire steden lang niet altijd het resultaat van een langzaam gegroeide situatie. Soms zijn lineaire steden bewust gepland. Voorbeelden zijn de door Craig in de 18e eeuw ontwikkelde plannen voor Edinburgh en de in 1882 door Don Arturo Soria y Matta ontworpen "Ciudad Lineal" bij Madrid. Dit betrof het ontwerp voor een stad voor 30.000 inwoners, gesitueerd aan weerszijden van een 40-50 m brede ontsluitingsweg met in het midden een vrije trambaan.

Duidelijke voorbeelden van vertakkingstructuren vormen pijpleidingnetwerken, waar de netwerkstructuur volledig is afgestemd op distributie of collectie. Omdat hier het verplaatsingspatroon volledig vast ligt, bestaat hier het nadeel van de omwegen niet. Als laatste toepassingsgebied is genoemd de situatie waarbij de omloopsnelheden zeer hoog zijn. Voorbeelden hiervan zijn hub-and-spoke systemen in de luchtvaart en telecommunicatienetwerken.



FIGUUR 7.6: GESLOTEN NETWERKEN

Gesloten netwerken

Bij gesloten netwerken komen in beginsel geen 'losse eindjes' voor; iedere knoop is met tenminste twee schakels met de rest van het netwerk verbonden. Bij deze netwerken worden naar de configuratie van de schakels de volgende hoofdvormen onderscheiden:

- gridvorm,
- driehoekenvorm,
- ring+ radiaalvorm
-

Gesloten netwerken verdienen in de volgende gevallen de voorkeur:

- Indien er sprake is van een diffuus vervoerpatroon tussen min of meer gelijkwaardige kernen;
- Wanneer op allerlei relaties sprake is van tweerichtingsverkeer.
- Indien door lagere omloopsnelheden omwegen zwaar tellen.

Gridvormige verkeersnetwerken zijn bijna altijd een afgeleide van verkavelingstructuren (bouwblokplanning). En zijn dan ook bijna altijd bewust gepland. Veel voorbeelden zijn te vinden in de Verenigde Staten; van doorslaggevende betekenis was daarbij "the land ordinance", voorgesteld door Thomas Jefferson en door het Congres in 1785 aangenomen (zie onderstaand citaat).

"Under that ordinance a huge network of survey lines was thrown across all the land north and west of the Ohio river. The base lines and principal meridians of the survey divided the landscape into squares 36 miles each side. These in turn were subdivided into 6-mile squares or townships and further divided into 36 sections each one mile square. The mile squares are then subdivided by acreage: the quarter section 160 acres with further possible subdivisions of 80, 40, 20, 10 or 5 acres. The 5-acre sites lend themselves to further division into rectangular city blocks (not unlike those of Manhattan) and subdivision again into lots of building plots".

Europese voorbeelden van rasterstructuren vormen de binnenstad van Bari (Italië) en de negentiende-eeuwse uitbreidingen van Barcelona. Den Haag wordt gekenmerkt door een nogal orthogonale opbouw van het wegennet.

Bij een gelijkmatige verdeling van de activiteiten over een gebied leidt een gridvormig verkeersnetwerk door de uniforme opbouw tot een gelijkmatige spreiding van de verkeersbelasting over het gehele net. Daarom bieden rasterstructuren in principe een grote mate van keuzevrijheid voor het lokaliseren van de bebouwing (activiteitsruimten).

Een nadeel van gridvormige verkeersnetwerken is het feit dat ze tot relatief grote omwegen leiden; de omweg blijft bij grid-structuren ongeacht de infrastructuurdichtheid altijd even groot. Deze omwegen zijn voor verplaatsingen op lokaal niveau minder bezwaarlijk dan voor verplaatsingen over langere afstanden. Gridvormige verkeersnetwerken zijn daarom minder geschikt voor netwerken op hogere schaalniveaus.

Indien aan een rastervormig verkeersnetwerk diagonalen toegevoegd worden, ontstaat een geheel ander beeld; deze diagonalen zijn in zeer sterke mate verkeersaantrekkend, omdat ze voor veel relaties de kortste route vormen. De verkeersaantrekkende werking van diagonalen in een rastervormig netwerk heeft vaak ook geleid tot het aantrekken van activiteiten. Een goed voorbeeld daarvan is de diagonaal Broadway in Manhattan, New York. De verkeersaantrekkende werking van diagonalen kan ook gebruikt worden om bijvoorbeeld het gebruik van bepaalde vervoerwijzen te stimuleren. Zo is in Lelystad een orthogonaal opgezet stadsdeel ontworpen (doch niet uitgevoerd) met diagonale fietsverbindingen.

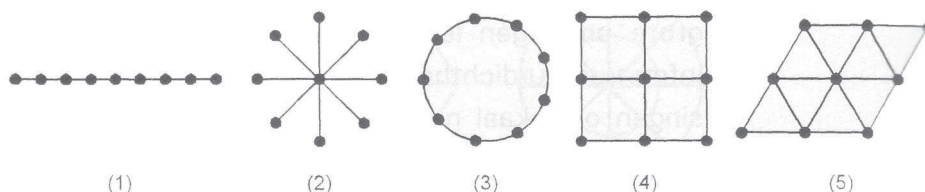
Evenals gridvormige verkeersnetwerken maken driehoekvormige verkeersnetwerken bij een diffuus verplaatsingspatroon een goede spreiding van de verkeersintensiteiten over het netwerk mogelijk. Een nadeel van dit soort netwerken op lokaal niveau is de weinig gelukkige kavelvorm. Het voordeel dat bij driehoekige netwerken de omwegen relatief kort zijn is met name gunstig voor de toepassing op hogere schaalniveaus.

Het onderling verbinden van een aantal min of meer gelijkwaardige kernen door een ringvormig verkeersnetwerk leidt tenslotte eveneens tot een gelijkmatige spreiding van de verkeersintensiteiten. Ringvormige infrastructuurnetwerken komen vooral voor op lokaal niveau.

Vergelijking netwerkvormen

Een goed inzicht in de wijze van functioneren van verschillende soorten netwerken is te vinden in een studie van Bolt (1982). Daarbij wordt onderscheid gemaakt tussen de in Figuur 7.7 gegeven netwerkvormen. Alle vijf basis-netwerkvormen bestaan uit negen toegangspunten, verbonden door links van gelijke lengte. Overigens is de nodige terughoudendheid bij de interpretatie van de resultaten nodig. Bij de verschillende netwerken is namelijk ook steeds de configuratie van de toegangspunten, en daarmee het verplaatsingspatroon verschillend. Er worden dus niet alleen netwerkvormen met elkaar vergeleken, maar impliciet ook de bijbehorende verplaatsingspatronen.

1. lineair of axiaal
2. stervormig of radiaal
3. cirkelvormig (bijzondere vorm van lineair!)
4. rechthoekig of raster,
5. driehoekig.

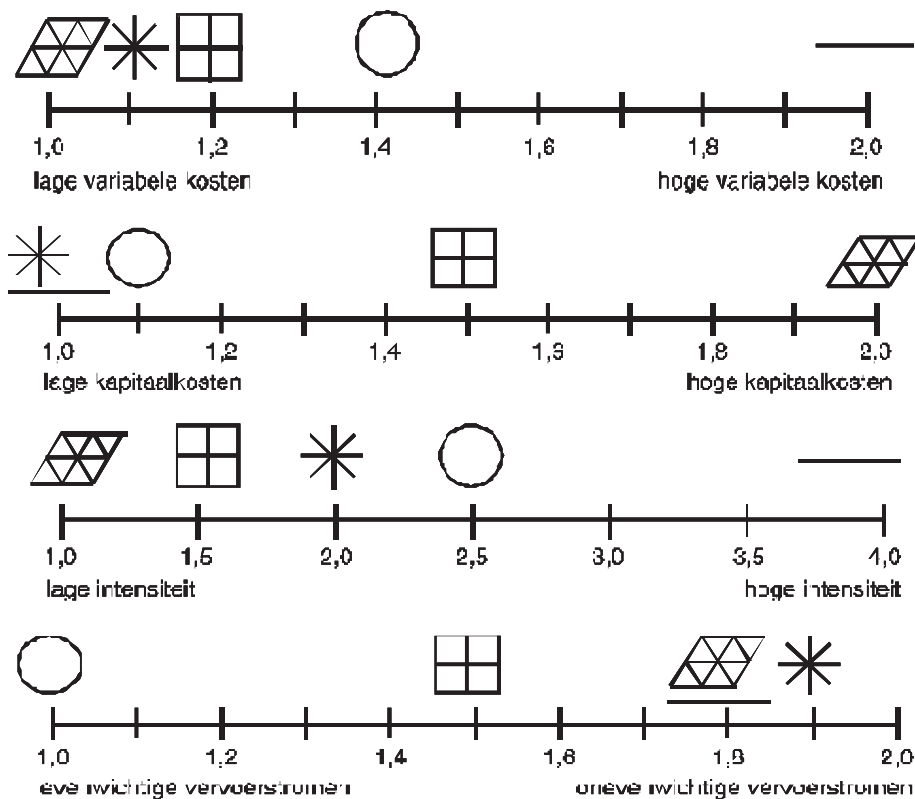


FIGUUR 7.7: NETWERKVORMEN (SCHAAL NIET VOOR ALLE GELIJK)

De gegeven netwerkvormen zijn met elkaar vergeleken op de volgende criteria:

1. kapitaalkosten: verschil in weglengte.
2. variabele verplaatsingskosten: verschil in af te leggen afstanden.
3. verkeersintensiteit: bepaalde vormen bundelen de stromen over een beperkt aantal verbindingen, andere niet.
4. verschillen in bereikbaarheid: hier wordt bedoeld het verschil in bereikbaarheid tussen de plaats met de beste en die met de slechtste bereikbaarheid.
5. evenwichtigheid vervoerstromen (symmetrie): grote verschillen in bereikbaarheid leiden dus tot onevenwichtigheid van vervoerstromen.

Verdere beoordelingscriteria zijn energieverbruik en milieuhinder door het verkeer. Deze zijn een afgeleide van de afgelegde kilometers en de wijze van bundeling.



FIGUUR 7.8: VERGELIJKING NETWERKVORMEN OP BASIS VAN VARIABLE KOSTEN, KAPITAALKOSTEN, VERVOERSINTENSITEIT EN VERSCHIL IN EVENWICHTIGHEID VERVOERSTROMEN (BEREIKBAARHEID) [BOLT, 1982]

In de (indicatieve) vergelijkingen, zoals weergegeven in Figuur 7.8, is de laagste waarde steeds op 1 gesteld. De getallen op de schaal zijn dus verhoudingsgetallen. Voorbeeld: de variabele kosten van het lineaire netwerk zijn tweemaal zo groot als die van het driehoekige netwerk. N.B. De schaal van "gebruiksintensiteit" loopt van 1 tot 4; de andere lopen van 1 tot 2. Een vergelijking van de netwerken aan de hand van de eigenschap "evenwichtigheid vervoerstromen" levert hetzelfde beeld als dat van "verschillen in bereikbaarheid" (en is daarom in dezelfde afbeelding ondergebracht).

Het blijkt dat het lineaire netwerk goedkoop is in aanleg, maar duur in gebruik (er moeten grote afstanden worden afgelegd en dat leidt tot hoge variabele kosten). Het wordt intensief gebruikt, wat bijvoorbeeld gunstig is voor een winkelstraat en ook voor de openbaarvervoerlijnen. De verschillen in bereikbaarheid zijn tamelijk groot. In het voorbeeld van de winkelstraat zijn de winkels in het midden veel gunstiger gelegen dan die aan de uiteinden.

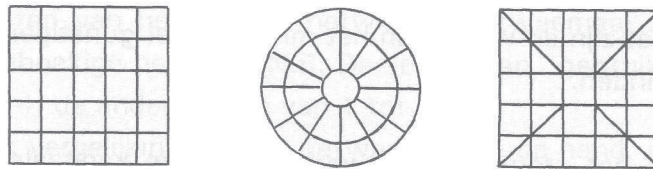
Ook het stervormig netwerk heeft lage kapitaalkosten. Hier zijn echter ook de variabele kosten laag. De verbindingen worden redelijk intensief gebruikt. De verschillen in bereikbaarheid zijn groot: het centrum is veel beter bereikbaar dan de perifere locaties. Dit leidt tot onevenwichtige vervoerstromen en congestie in het centrum.

Van het ringvormige netwerk zijn de kapitaalkosten en ook de variabele kosten betrekkelijk laag. De infrastructuur wordt intensief gebruikt. Omdat er nauwelijks verschillen in bereikbaarheid zijn, zullen de vervoerstromen evenwichtig zijn. Zowel de hoge gebruiksintensiteit als de evenwichtigheid van vervoerstromen maken een ringvormig netwerk aantrekkelijk voor openbaar vervoer. Ook voor autoverkeer leidt een ringvormige structuur tot een efficiënt gebruik van de infrastructuur.

Het rechthoekige netwerk kan worden gekarakteriseerd als een "niet-extreem" netwerk. Wat betreft de meeste eigenschappen is het middelmatig tot betrekkelijk gunstig. Dit verklaart misschien de veelvuldige toepassing van dit netwerk.

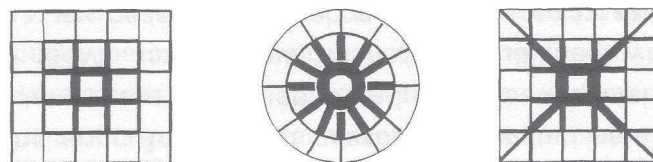
Het driehoekig netwerk is kostbaar in aanleg en goedkoop voor de gebruiker en is daarmee de tegenpool van het lineaire netwerk. Het gebruik van de verbindingen is weinig intensief. De verschillen in bereikbaarheid zijn beperkt.

In de studie van Bolt lag de nadruk op interlokale netwerken. Een vergelijkbare interessante studie is (veel eerder) uitgevoerd door Fischer en Boudikis (1963), waarbij de nadruk lag op stedelijke netwerken.



FIGUUR 7.9: STEDELIJKE STRUCTUREN: RASTER, RADIAAL/RING EN RASTER MET DIAGONALEN (OPPERVLAKTE STAD IN ALLE DRIE GEVALLEN GELIJK, IEDER NET HEEFT 36 KNOOPPUNTEN)

Het ging hierbij ook om een studie naar de verkeerskundige effecten van ideale netwerkstructuren; onderscheid werd gemaakt tussen een rasternetwerk, een ring-radiaal netwerk en een rasternetwerk met radialen, zoals aangeven in Figuur 7.9. Daarbij werd uitgegaan van een stad waar het grootste deel van de verplaatsingen centrumgericht is. Figuur 7.10 laat zien hoe het verkeer in de onderscheiden gevallen het verkeersnetwerk belast.



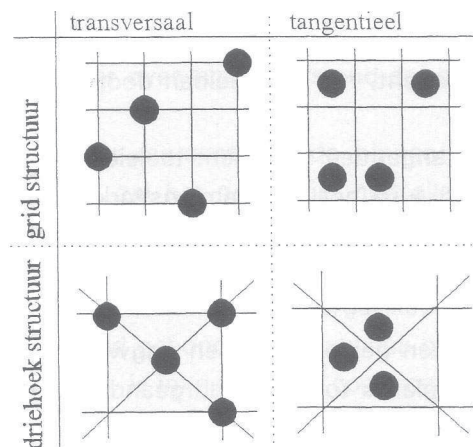
FIGUUR 7.10: TRAJECTBELASTINGEN

Vergelijking raster en raster met diagonalen: 33% van de ritten hebben voordeel van de diagonalen, voor deze 33% is de ritlengte 8 tot 30% korter; betrokken op alle ritten is dit gemiddeld 6%, diagonalen geven echter 19% meer weglengte. Vergelijking raster en ring-radiaal: in een ring-radiaal netwerk is de gemiddelde ritlengte van alle ritten 12% korter.

7.2.3 Ligging infrastructuur t.o.v. bebouwd gebied

Wat betreft de ligging van een netwerk ten opzichte van de bebouwing van een kern kan in hoofdzaak onderscheid gemaakt worden tussen de volgende in Figuur 7.11 weergegeven mogelijkheden:

- Een centrale ligging van de schakels door de kern met een centraal gelegen toegangspunt, zoals vaak het geval is bij spoorlijnen in grotere steden (wordt ook transversale ligging genoemd);
- Een tangentiële ligging van de schakels ten opzichte van de kern met perifeer gelegen toegangspunten, zoals meestal het geval is bij autosnelwegen.



FIGUUR 7.11: STRUCTUUR EN LIGGING VAN NETWERKEN

Netwerken met een centrale of transversale ligging zijn aantrekkelijk indien concentratie van vervoerstromen en vervoeractiviteiten gewenst is, indien het vervoersysteem in verhouding tot de prestatie (ritten) relatief ruimte-extensief is en indien 'functionele' knooppunten worden gecombineerd met uitwisselingspunten. Netwerken met een tangentiële ligging zijn aantrekkelijk indien het vervoersysteem relatief ruimte-intensief is en 'functionele' knooppunten niet samen hoeven te vallen met uitwisselingspunten; dit is bijvoorbeeld het geval bij het autosnelwegennet.

Bij de toepassing van randwegen voor het interlokale doorgaande verkeer zijn aanvankelijk ringwegen toegepast. Een voorbeeld hiervan is de ringweg rond Eindhoven. Later werd veel meer gestreefd naar een tangentiële ligging van autosnelwegen ten opzichte van bebouwde kernen.

Voorals sinds het begin van de jaren zestig is in West-Duitsland veel aandacht besteed aan de ontwikkeling van tangenteel opgebouwde wegennetten, teneinde de nadelen van het ring-radiaalprincipe (waarbij de radialen transversaal door de bebouwde gebieden lopen) te ondervangen. Echter ook de ontwikkeling van de Engelse New Town laat een steeds meer loslaten van het ring-radiaalprincipe zien met een pleidooi voor een hiërarchisch opgebouwd lokaal wegennet met verkeersluwe verblijfsgebieden, en goed ingebed in het interlokale wegennet.

Ringen en tangenten

Een van de belangrijkste ontwikkelingen wat betreft de opbouw van lokale hoofdwegennetten is de overgang van ringen naar tangenten. Dit is de reden nog eens nader in te gaan op het verschil tussen:

- ring-radiaal stramien: toeleidende wegen zijn op het hart van de stad of binnenstad gericht, het af te leiden doorgaande verkeer moet "haaks de hoek om",
- rechthoekig-tangenteel stramien: toeleidende wegen lopen langs de stad of binnenstad; juist het bestemmingsverkeer moet bewust afbuigen.

Let op: enerzijds kan een tangent een afgebogen radiaal zijn, anderzijds bestaan er rechthoekige 'ring'wegen (ruit).

De omsluiting van een gebied door een ringweg of een tangentenstelsel heeft veelal in de eerste plaats tot doel doorgaand verkeer, dat wil zeggen verkeer dat er geen bestemming heeft, door dat gebied te vermijden. Daarnaast is het meestal de bedoeling dat verkeer met een bestemming in het betreffende gebied zo lang mogelijk gebruik maakt van de ringweg of het tangentenstelsel en pas zo laat mogelijk het gebied binnenrijdt. In beide gevallen functioneert een tangentenstelsel veel beter dan een ringweg. Dit betekent ook dat een ringweg uit het oogpunt van verkeersafwikkeling meer kwaliteit moet hebben dan een tangentenstelsel om zijn functie waar te kunnen maken.

Een verder nadeel van het ringwegen-radiaalsysteem is dat niet alleen meer verkeer "binnendoor" naar zijn bestemming in het betreffende gebied gaat, maar dit verkeer ook nog een vrij sterke concentratie in het midden van het gebied veroorzaakt. Dit in tegenstelling tot de goede spreiding van het bestemmingsverkeer binnen het betreffende gebied in het geval van een tangentsysteem met een orthogonale interne wegenstructuur.

Overigens zal behalve het externe bestemmingsverkeer ook het interne verkeer binnen een gebied met een ring-radialensysteem een veel sterkere concentratie van belastingen op wegen en knooppunten in het midden van het gebied veroorzaken dan in een gebied met een orthogonale wegenstructuur.

Het voordeel van een tangentenstelsel schuilt er vooral in dat het gebruik ervan veel vanzelfsprekender is en dus niet "afgedwongen" hoeft te worden, zoals vaak bij een ringweg het geval is. In het voorgaande ging het om de tangentiële ligging van wegen voor interlokaal doorgaand verkeer. Veelal is het echter eveneens nodig binnensteden te vrijwaren van lokaal doorgaand verkeer. De hiervoor vaak toegepaste binnenstadstangenten dienen het lokale verkeer over langere afstand, dat geen bestemming in de binnenstad heeft, op te vangen en langs de binnenstad te leiden. Deze binnen(stads)tangenten geven tevens het verkeer dat wel een bestemming in de binnenstad heeft, de mogelijkheid pas op een zo laat mogelijk moment de binnenstad binnen te rijden. Dit laatste kan aangemerkt worden als de verdeelfunctie van de binnen(stads)tangenten.

Veelal zal deze verdeelfunctie zo belangrijk zijn dat de binnen(stads)tangenten alleen al nodig zijn voor de opvang en geleiding van het verkeer dat een bestemming in de binnenstad heeft, en er geen ruimte overblijft voor het lokale verkeer over langere afstand dat geen bestemming in de binnenstad heeft.

Op het moment dat de binnen(stads)tangenten te zwaar belast dreigen te raken, zal het nodig zijn niet alleen nodeloos verkeer door de binnenstad te vermijden, maar ook nodeloos verkeer langs de binnenstad. Dit betreft het verkeer tussen woonwijken onderling, tussen woonwijken en industrie- of bedrijventerreinen en dergelijke. Om te bereiken dat dit niet aan de binnenstad gebonden verkeer ook geen gebruik van de binnen(stads)tangenten zal maken, is invoering van zogenoemde middentangenten nodig.

Een en ander betekent dat bij opbouw van een lokaal hoofdwegennet drie soorten wegen onderscheiden kunnen worden, te weten:

- binnen(stads)tangenten, vooral bedoeld voor alle verkeer met een herkomst of bestemming in de binnenstad (Delft: Westvest),
- middentangenten, vooral bedoeld voor alle verkeer met een herkomst en bestemming elders in de stad (Delft: Van Miereveltlaan),
- buitentangenten, voornamelijk bedoeld voor het interlokale doorgaande verkeer en daarom feitelijk meer deel uitmakend van het interlokale wegennet (Delft: Provinciale Weg, Kruithuisweg).

Uiteindelijk ontstaat er een orthogonaal opgebouwd lokaal hoofdwegennet met als voordelen de overzichtelijkheid, de flexibiliteit en de goede bereikbaarheid van alle stadsdelen vanuit de diverse richtingen.

7.2.4 Karakteristieken infrastructuurnetwerken Nederland

Een belangrijk kengetal van een netwerk is de lengte ervan. In Tabel 7.2 is de weglengte per wegbeheerder weergegeven. Merk op dat deze maat niet overeenkomt met de eerder gegeven functionele indeling van netwerken. Duidelijk is dat het Rijkswegennet slechts een klein deel is van het totale netwerk: 2,5%. De grootste groei in het wegennet vindt plaats op het lokale niveau. Bij het Rijkswegennet is de afgelopen tijd wel veel sprake geweest van capaciteitsuitbreiding: de weglengte van autosnelwegen is van 2208 naar 2582 km gegaan; een groei van 17%.

Wegbeheerder	1996	2006	Aandeel	Groei
Rijk	3.206	3.267	2,5%	102%
Provincie	6.910	6.572	5,0%	95%
Gemeente en Waterschap	103.304	121.998	92,5%	118%
Totaal	113.420	131.837		116%

TABEL 7.2: LENGTE VAN HET WEGENNET IN 1996 EN 2006 [CBS STATLINE]

Tabel 7.3 geeft een overzicht van de infrastructuurlengte voor het spoorwegennet. 72% van het netwerk is geëlektrificeerd. Daarvan is slechts 14% enkelsporig. Bij de niet geëlektrificeerde spoorwegen is 80% enkelspoor.

	Geëlektrificeerd	Niet geëlektrificeerd	Elektrificatie onbekend	Totaal	Aandeel
Enkelspoor	287	562	53	902	32%
Dubbelspoor	1.496	130	8	1.634	58%
Meersporig	239	16	5	260	9%
Totaal	2.022	708	66	2.796	
Aandeel	72%	25%	2%		

TABEL 7.3: LENGTE VAN HET SPOORWEGENNET IN 2006 [CBS STATLINE]

Een tweede kengetal, bijvoorbeeld geschikt voor internationale vergelijkingen, is de netwerkdichtheid: netwerklengte gedeeld door het oppervlak. Tabel 7.4 toont de dichtheden voor een drietal netwerksoorten in Nederland. Opvallend is dat de dichtheden voor de hoofdinfrastructuur minder verschillen dan die voor de totale infrastructuur.

Netwerk	Netwerkdeel	Dichtheid [km/km ²]
Wegen	Totaal	3,998
	Hoofdinfrastructuur (rijkswegen, gescheiden hoofdrijbanen)	0,077
Spoorwegen	Totaal	0,083
	Hoofdinfrastructuur (twee- of meersporig, geëlektrificeerd)	0,051
Vaarwegen	Totaal	0,184
	Hoofdinfrastructuur (rijksvaarwegen)	0,076

TABEL 7.4: NETWERKDICHTHEDEN IN NEDERLAND 2006 [CBS STATLINE]

Op basis van het totaal kilometrage van autobestuurders (MON) en het voertuigkilometrage op rijkswegen (Rijkswaterstaat) is een schatting te maken van de mate waarin de verplaatsingen op het autosnelwegennet worden gebundeld: Op 2,5% van de wegenlengte wordt meer dan 50% van het autokilometrage afgewikkeld!