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. De basis is de samenhang tussen het ruimtelijke systeem en het transportsysteem zoals is beschreven in de cirkel van Wegener en de structurering van het transportsysteem met het TRAIL-Lagenmodel. Achtereenvolgens komen aan bod:

- De samenhang tussen ruimtelijk systeem en het verkeers- en vervoersysteem
- Bereikbaarheid en locatiekeuze
- Modellering van ruimtelijke systemen
- Verplaatsingspatronen
- Keuzen en keuzemodellering
- Modellering van verkeers- en vervoersystemen

In deze tweede versie is een aantal fouten gecorrigeerd in de formules, met name het Lowry-model is consistent gemaakt met de bijbehorende algoritmebeschrijving, en zijn de verplaatsingsgegevens aangepast aan de recent gecorrigeerde data van het OViN. Dit laatste heeft vooral invloed op het aantal verplaatsingen en verplaatsingskilometers met het openbaar vervoer.

DEEL 1: RUIMTELIJKE PLANNING & VERVOERPLANNING SYSTEEM EN ELEMENTEN 1

1 SAMENHANG RUIMTELIJK SYSTEEM EN TRANSPORTSYSTEEM 3
1.1 Inleiding 3
1.2 Cirkel van Wegener 3
1.3 TRAIL-Lagenmodel 6
1.3.1 Begripsbepaling 6
1.3.2 Achtergrond van de verplaatsingsbehoefte 7
1.3.3 Activiteitenpatronen 7
1.3.4 Reizigers en vracht 8
1.3.5 Vervoersdiensten 8
1.3.6 Vervoersmiddelen 9
1.3.7 Verkeersdiensten 9
1.3.8 Verkeersinfrastructuur 10
1.3.9 De vervoer- en verkeersmarkt 10
1.4 Samenhang ruimtelijk systeem en transportsysteem 13

2 RUIMTELIJK SYSTEEM 14
2.1 Inleiding 14
2.2 Bereikbaarheid: verschillende definities 14
2.3 Locatiekeuze van een bedrijf, huishouden of voorziening 18
2.3.1 Locatiekeuze op basis van bereikbaarheid 18
2.3.2 Locatiekeuze met distributie-planologische modellen 19
2.4 Ruimtelijke interactiemodellen 20
2.4.1 Hansen's Potential Model 21
2.4.2 Het Lowry model 22

3 TRANSPORTSYSTEEM 26
3.1 Verplaatsingspatronen 26
3.1.1 Hoofdbegrippen 26
3.1.2 Verplaatsingskenmerken personenvervoer 31
3.1.3 Verplaatsingskenmerken goederenvervoer 43
3.2 Keuzen en keuzemodellering 46
3.2.1 Keuzes maken 47
3.2.2 Theorievorming verplaatsingskeuzes 49
3.2.3 Het Logit-keuze model 52
3.3 Modellering van het verkeers- en vervoersysteem: het 4 fasenmodel 54
3.3.1 Vervoer- en verkeersmodellen personenvervoer 55
3.3.2 Onderdelen van het vervoer- en verkeersmodel 57
3.3.3 Gebruik van modellen 65
3.3.4 Vervoer- en verkeersgegevens en modellen 67

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 vervoersysteem en het verkeerssysteem nader gedefinieerd. Daarbij wordt de opbouw van het vervoer- en verkeerssysteem benaderd vanuit het zogenaamde lagenmodel. 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 en de afstemming daartussen op de onderscheiden niveaus van het vervoer- en verkeerssysteem de nodige aandacht.

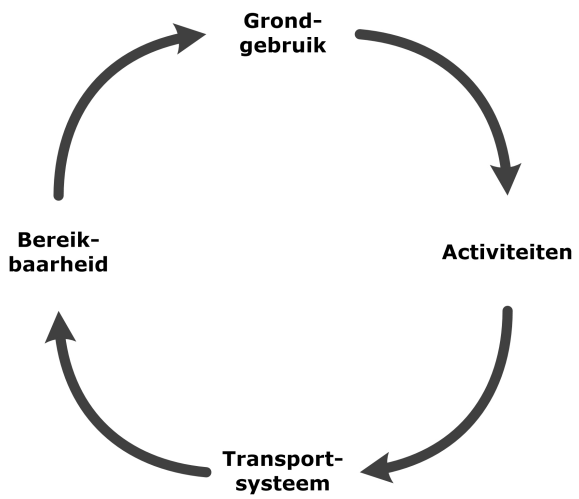
1.2 Cirkel van Wegener

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 grondgebruik 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

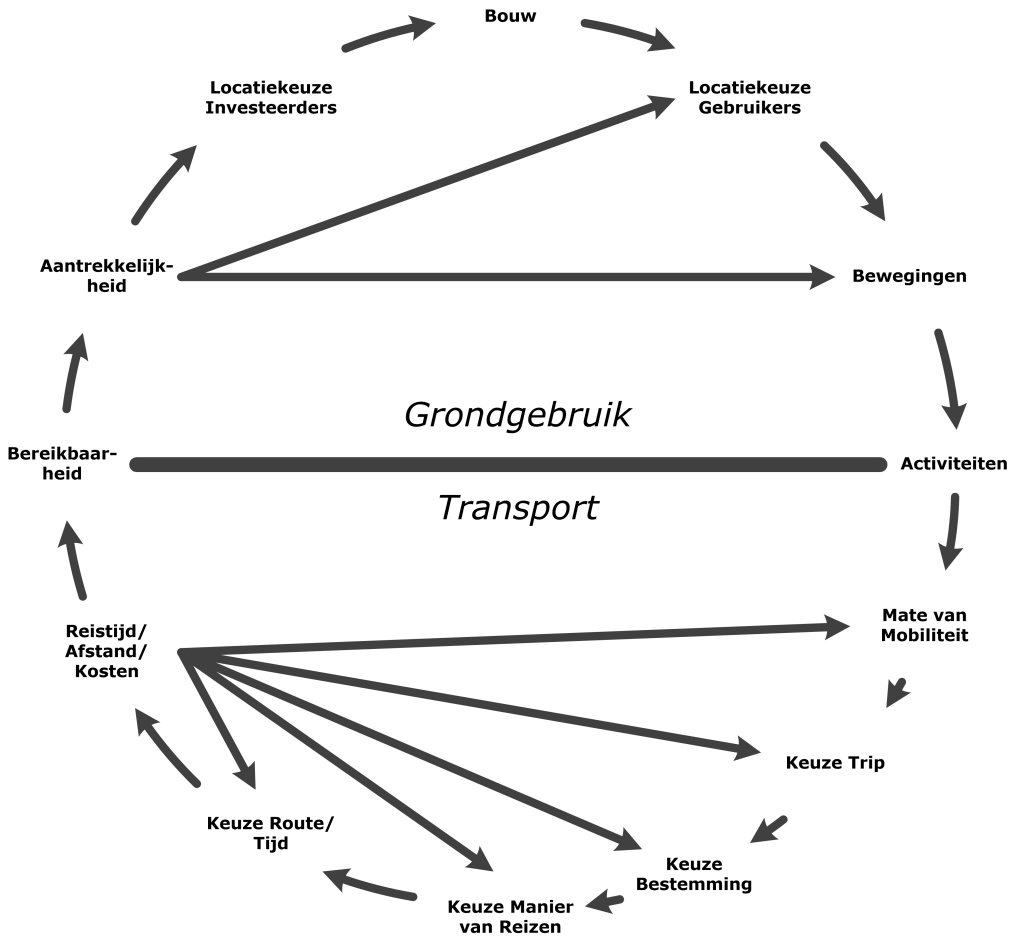
Zoals te zien is in de cirkel hebben het grondgebruik en het transportsysteem invloed op elkaar. Deze invloed oefenen ze niet direct op elkaar uit, maar door middel van tussenliggende factoren zoals de activiteiten en de bereikbaarheid.

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 transportsysteem 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
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 moeten verhuizen naar aantrekkelijkere locaties.
Activiteiten: door de scheiding van activiteiten ontstaat de noodzaak om te reizen.
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.

In Figuur 1.2 is in de cirkel te zien dat het grondgebruik en het transportsysteem in verschillende factoren opgedeeld zijn. Opvallend hierbij is dat de reistijden/ afstanden/ kosten invloed hebben op meerdere factoren, namelijk de routekeuze, de keuze voor manier van gebruik, 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 TRAIL-Lagenmodel

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 constateringen liggen 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 tijdsperiode 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 term verkeer. Dit betekent dat het vervoer- en verkeerssysteem opgebouwd kan worden uit drie lagen (Schoemaker, 2002). De eerste laag wordt gevormd door de activiteitenpatronen van personen en goederen die leiden tot verplaatsingen van 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 leiden de activiteitenpatronen van personen en goederen tot de vraag naar vervoer en de karakteristieken van vervoerdiensten tot het vervoeraanbod. De afstemming tussen activiteiten en vervoeraanbod vindt plaats op de vervoermarkt en leidt tot verplaatsingspatronen in ruimte en tijd. Evenzo leiden de vervoerdiensten tot verkeersvraag en vormen de verkeersdiensten het 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 (bedrijfs)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 Activiteitenpatronen

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 de verplaatsingsbehoefte van personen en goederen. De in een bepaald gebied en voor een bepaalde periode geaggregeerde verplaatsingsbehoefte kan 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 het patroon van de verplaatsingsbehoefte 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 m^2 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 per se 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 rijkarakteristieken (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 maken regionale snelbusdiensten gebruik van het autosnelwegnet, 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

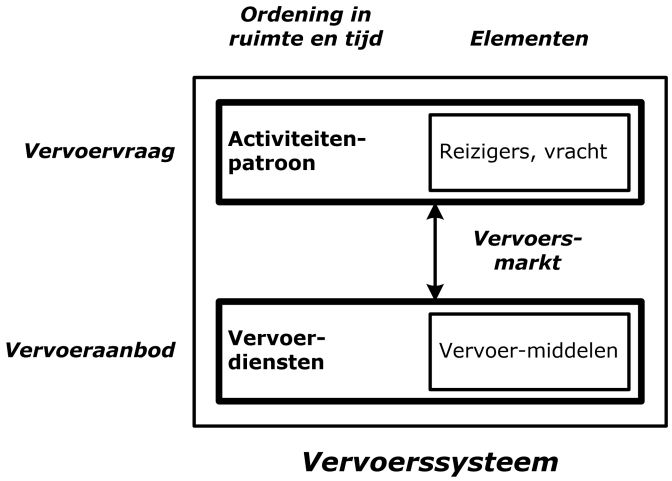
De in paragraaf 1.3.6 onderscheiden voertuigkenmerken maken het nodig verschillende typen verkeersinfrastructuur te onderscheiden. Op dit moment zijn de hoofdtypen landgebonden infrastructuur: wegen, spoorwegen en binnenvaartwegen. Binnen deze hoofdtypen kunnen weer vele onderverdelingen gemaakt worden.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

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 ontwerpsnelheid 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.

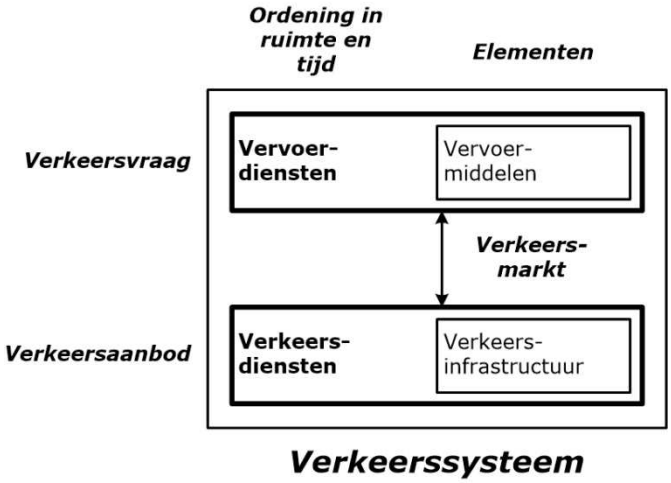
1.3.9 De vervoer- en verkeersmarkt

Het transportsysteem kan worden beschouwd als de som van twee deelsystemen, namelijk het vervoer- en het verkeerssysteem. Het vervoersysteem omvat de elementen activiteiten, reizigers en vracht, vervoerdiensten, vervoermiddelen. De vraagkant wordt gevormd door de activiteiten, de aanbodkant door de vervoerdiensten. Het resulterende verplaatsingenpatroon 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 'vervoersaanbodelementen', 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 de activiteiten (de verplaatsingsbehoefte) en de aangeboden vervoerdiensten. Een en ander staat samengevat in Figuur 1.3.



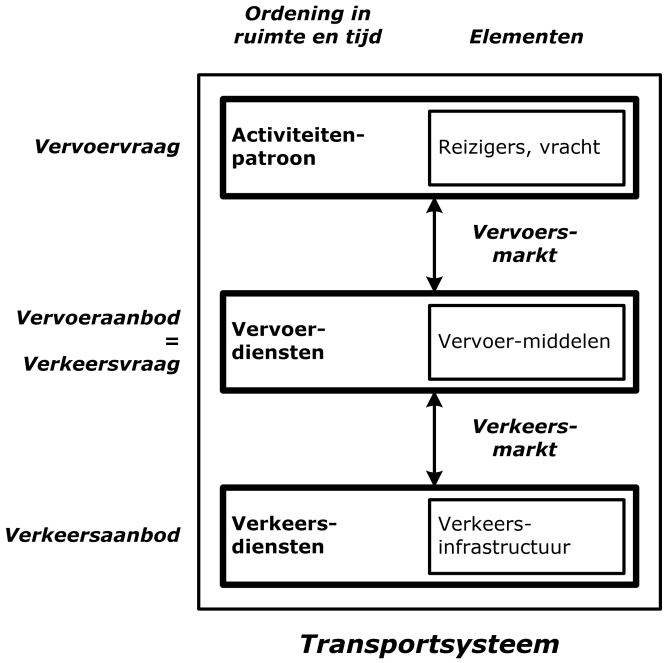
FIGUUR 1.3 HET VERVOERSYSTEEM

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 verplaatsingenpatroon van personen en goederen, dan spreken we eenvoudigweg van 'verkeer'. Het resulterende verkeerspatroon 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 activiteiten (vervoersvraag) en het vervoeraanbod. De verkeersmarkt is de interactie tussen de vervoerdiensten (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. 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.



FIGUUR 1.5: HET TRANSPORTSYSTEEM (SCHOEMAKER, 2002)

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.

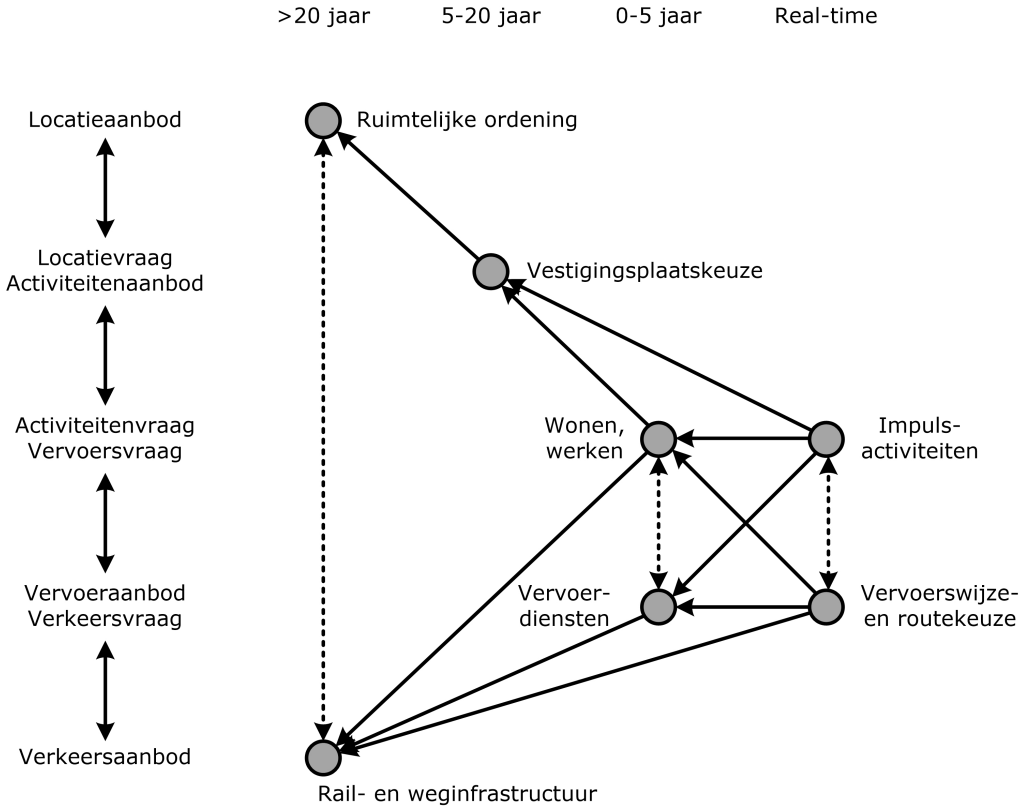
Deze benadering geldt in veel mindere mate voor het gebruik van (rail)infrastructuur. Het belangrijkste voorbeeld daarvan vormen de spoorwegen, waar sinds enkele jaren de exploitatie van de railinfrastructuur en het bieden van vervoerdiensten gescheiden zijn. Tegenwoordig zal de aanbieder van treindiensten 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 toe) 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.

1.4 Samenhang ruimtelijk systeem en transportsysteem

Het Lagenmodel kan op allerlei manieren worden uitgebreid of worden gedetailleerd. Zo geven Egeter et al. (2002) een uitbreiding richting het ruimtelijk systeem en een detaillering wat betreft de termijn waarin de bijbehorende processen zich afspelen. Voor het ruimtelijk systeem komen er twee lagen (en markten) bij: de keuze van plekken waar ontwikkeling mogelijk is (ruimtelijke ordening) en de keuze welke activiteiten zich waar vestigen. De cirkel van Wegener is hier duidelijk herkenbaar. De ruimtelijke ordening betreft vooral de keuze van politici en bijvoorbeeld projectontwikkelaars en de vestigingskeuze vooral van bedrijven en huishoudens. Voor beide typen processen geldt dat die zich op de lange termijn afspelen, terwijl bij het transportsysteem de termijn waarop keuzen kunnen veranderen duidelijk korter is. Wel is hier en onderscheid mogelijk tussen typen activiteiten. Bij activiteiten zoals werk en studie zijn de resulterende verplaatsingspatronen robuuster over de tijd dan bij activiteiten als vrijetijdsbesteding.

In het schema van Egeter et al. (2002) (Figuur 1.6) geven de getrokken pijlen 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.



FIGUUR 1.6 UITBREIDING LAGENMODEL NAAR HET RUIMTELIJK SYSTEEM [BRON: EGETER ET AL. 2002]

2 RUIMTELIJK SYSTEEM

2.1 Inleiding

In het ruimtelijk systeem gaat het vooral om de vraag om waar een functie of functies in de ruimte geplaatst kunnen worden. Hierbij zijn twee soorten vraagstukken te onderscheiden:

- Wat is de beste plek om bijvoorbeeld een bedrijf of voorziening te vestigen?
- Hoe zijn bijvoorbeeld de inwoners of bedrijven verdeeld over de ruimte?

Sleutelbegrip bij dit soort vragen is het begrip bereikbaarheid, een begrip met veel definities. Daarom wordt dit begrip het eerst besproken. Vervolgens gaan we in op beide vraagstukken waarbij we telkens twee methoden bespreken. Voor het locatievraagstuk gaat om een benadering gebraseerd op bereikbaarheid van locaties en een benadering waarin een systematische spreiding centraal staat. Bij het ruimtelijk verdelingsvraagstuk komen twee modelmatige benaderingen aan bod die beide gebaseerd zijn op het begrip bereikbaarheid: het Hansen-model en het Lowry-model.

2.2 Bereikbaarheid: verschillende definities

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 2.1 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 2.1 HET VERSCHIL IN DE AARD VAN VERKEERSKUNDIGE EN SOCIAAL-GEOGRAFISCHE 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 (1991) definieert de in Figuur 2.1 weergegeven methode ter bepaling van de bereikbaarheid van een locatie.

FIGUUR 2.1 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 opportunities (bijv. arbeidsplaatsen). Het aantal bereikbare opportunities 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:

$$B_{iv} = \sum_{j=1}^{n} M_j \cdot F\left(z_{ijv}\right) \quad \mathrm{z_{ijv}} \leq \mathrm{z_{max}}$$ *VERGELIJKING 2.1*

Waarin:

- B_{iv} = bereikbaarheid gebied i met vervoerwijze v;
- n = aantal gebieden dat wordt onderscheiden;
- M_j = massa of maat voor aantal opportunities in gebied j (bijv. arbeidsplaatsen);
- $F(z_{ijv})$ = weerstandsgevoeligheidsfunctie;
- z_{ijv} = weerstand, bv. afstand of reistijd, van gebied j naar i met vervoerwijze v;
- z_{max} = maximale weerstand (deze waarde kan natuurlijk ook oneindig zijn!).

Merk op dat bij deze definitie ook de massa (bv. arbeidsplaatsen) en de interne weerstand van gebied i zelf een rol speelt! Voor een gebied kan een bestaande gebiedsindeling worden gebruikt, bijvoorbeeld postcodegebieden of gemeenten, maar ook een zelfgemaakte gebiedsindeling, bijvoorbeeld een rasterindeling. In dit verband worden gebieden vaak ook kernen of zones genoemd. In het netwerk zijn deze gebieden geschematiseerd als knooppunten, zodat gemakkelijk de weerstanden tussen de gebieden kunnen worden berekend.

Ook voor een netwerk kan een bereikbaarheid worden berekend, simpelweg door de som te bepalen van de bereikbaarheid van de gebieden die in het netwerk liggen.

Gaat het om het aantal arbeidsplaatsen binnen een reistijd van 45 minuten, dan is de weerstandsgevoeligheidsfunctie een simpele binaire functie: 1 als de reistijd minder is dan 45 minuten en 0 als de reistijd langer is. In veel bereikbaarheidsvragen heeft de weerstand een ander effect: hoe hoger de weerstand hoe lager de attractiviteit. De weerstandsgevoeligheidsfunctie geeft dan 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 volgende vormen zijn uit de literatuur bekend:

$$F\left(z_{ijv}\right) = \frac{1}{z_{ijv}}$$

$$F\left(z_{ijv}\right) = \frac{1}{z_{ijv}^2}$$

$$F\left(z_{ijv}\right) = \exp\left(-c \cdot \ln^2\left(z_{ijv} + 1\right)\right)$$

Met deze bereikbaarheidsformule kan gemakkelijk de totale bereikbaarheid van het totale gebied worden berekend door simpelweg de bereikbaarheden van de afzonderlijke gebieden op te tellen. Op deze manier kan bijvoorbeeld worden bekeken wat het effect van een netwerkuitbreiding op de totale bereikbaarheid is.

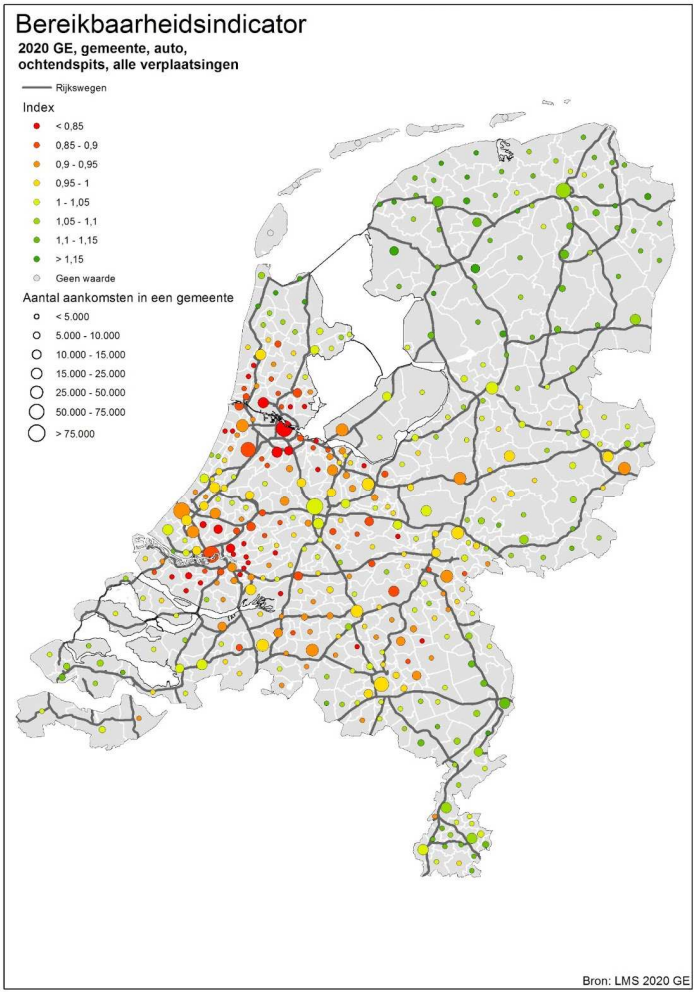
In 2012 heeft het Ministerie van Infrastructuur en Milieu een nieuwe bereikbaarheidsmaat voorgesteld. Hierin staat niet zoals in de voorgaande definities de opportunities die bereikt kunnen worden centraal, maar sec de kwaliteit van het transportsysteem. Deze bereikbaarheidsindicator is als volgt gedefinieerd:

$$BI_{jv} = \frac{\sum_{i=1}^{n} P_{ijv} \cdot dhb_{ij}}{\sum_{i=1}^{n} P_{ijv} \cdot t_{ijv}}$$ *VERGELIJKING 2.2*

BI_{jv} = bereikbaarheidsindicator voor gebied j en vervoerwijze v
P_{ijv} = aantal verplaatsingen van gebied i naar gebied j met vervoerwijze v
dhb_{ij} = hemelsbrede afstand van gebied i naar gebied j
t_{ijv} = reistijd van gebied i naar gebied j met vervoerwijze v

Deze bereikbaarheidsindicator is dus uitgedrukt als een snelheid en kan door een selectie van herkomsten en typen verplaatsingen, ook per verplaatsingsmotief, per windrichting en per afstandsklasse worden bepaald. En als het onderscheid per vervoerwijze vervalt, resulteert dit in een overall maat voor de snelheid waarmee een gebied kan worden gebruikt. Voorwaarde is wel dat de aantallen verplaatsingen bekend zijn. Die kunnen daadwerkelijk waargenomen zijn (zie paragraaf 3.1) of afkomstig zijn uit verkeers- en vervoermodellen (zie paragraaf 3.3).

Uitgedrukt in snelheden is deze maat nog niet helder te interpreteren. Door een index te bepalen op basis van de gemiddelde waarde, kan gekeken worden naar gebieden die duidelijk lagere c.q. hogere waarden hebben. Deze index kan gebruikt worden om een problemen te signaleren, om na te gaan in welke mate bepaalde maatregelen de bereikbaarheid verbeteren en om te monitoren hoe de bereikbaarheid in de loop der tijd verandert.



FIGUUR 2.2 VOORBEELD GEBRUIK BEREIKBAARHEIDSINDICATOR VOOR EEN TOEKOMSTSCENARIO VOOR 2020 (KPVV 2013)

2.3 Locatiekeuze van een bedrijf, huishouden of voorziening

Voor de locatiekeuze van bedrijven, huishoudens of voorziening komen 2 benaderingen aan bod. Bij de eerste benadering is de bereikbaarheid van een locatie de belangrijkste sleutel. De tweede benadering richt zich meer op een efficiënte verdeling van voorzieningen over een gebied.

2.3.1 Locatiekeuze op basis van bereikbaarheid

De simpelste benadering van locatiekeuze is dat een bedrijf of een voorziening op de best bereikbare locatie wil zitten. Oftewel, bepaal het gebied i waar de bereikbaarheid het grootst is:

$$\arg\max_{i} B_{iv} = \sum_{j=i}^{n} M_j \cdot F\left(z_{ijv}\right), \quad z_{ijv} \leq z_{\max}$$ *VERGELIJKING 2.3*

In feite zegt de bereikbaarheid in dit geval iets over de potentie van een gebied voor de vestiging van een bedrijf of voorziening. Daarom wordt de op deze manier gedefinieerde bereikbaarheid ook wel de potentiaalwaarde genoemd.

De oplossingsmethode komt vaak neer op het berekenen van de bereikbaarheid voor alle zones. Vaak kan op voorhand een slimme selectie worden gemaakt gegeven de ligging in het netwerk en niet te vergeten de massa M_i en de interne weerstand z_{iiv} van gebied i zelf!

De massa van het gebied is echter niet relevant als het niet op een locatie in een gebied gaat maar om een locatie van en voorziening langs een weg. In dat geval ligt de locatie dus niet op een vooraf gedefinieerd punt (=gebied) in het netwerk, en heeft dus geen eigen massa. Dit speciale vraagstuk heeft daarnaast nog de bijzonderheid dat als je kijkt naar een locatie langs een weg tussen twee knooppunten, de weerstanden naar de andere knooppunten steeds veranderen en in sommige gevallen zelfs de routes naar andere knooppunten kunnen "omklappen".

Op het hiervoor beschreven principe voor de locatiekeuze is wel een uitzondering te benoemen. Als het gaat om publieke voorzieningen, bv. een ziekenhuis, waarvan iedereen gebruik van moet maken dan speelt de weerstand eigenlijk geen rol. In dat geval zoek je de locatie waarbij de gebruikers de minste weerstand hoeven te overbruggen.

$$\arg\min_{i} B_{iv} = \sum_{j=i}^{n} M_j \cdot z_{ijv}, \quad z_{ijv} \leq z_{\max}$$ *VERGELIJKING 2.4*

Beide benaderingen gelden voor het eenvoudige geval dat voor de locatiekeuze van één bedrijf of voorziening op basis van alleen één bereikbaarheidsmaat. Het kan natuurlijk ook gaan om meer bedrijven of voorzieningen en ook kan de locatiekeuze van meer factoren afhankelijk zijn.

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

$$\arg\max_{I_m} \sum_{i \in I_m} \sum_{j=i}^{n} x_{ij} \cdot M_j \cdot F\left(z_{ijv}\right), \quad z_{ijv} \leq z_{\max}$$ *VERGELIJKING 2.5*

I_m = set met m locaties van de voorziening;
z_{ij} = de weerstand van het toewijzen van voorziening i aan locatie j;
x_{ij} = het aandeel van de massa M_j dat van de voorziening in i gebruik maakt.

De doelstellingsfunctie voor m publieke voorzieningen kan op eenzelfde manier worden geformuleerd:

$$\arg\min_{I_m} \sum_{i \in I_m} \sum_{j=i}^{n} x_{ij} \cdot M_j \cdot z_{ijv}, \quad z_{ijv} \leq z_{\max}$$ *VERGELIJKING 2.6*

Bij de keuze voor een locatie gaat het om twee soorten factoren: karakteristieken van de locatie zelf, zoals de prijs, de voorzieningen ter plekke en de naaste omgeving (of de hinder daarvan), en de bereikbaarheid van de locatie. De bereikbaarheid is vaak niet eenduidig te definiëren. Voor een bedrijf is het bijvoorbeeld belangrijk dat zijn klanten goed bij het bedrijf kunnen komen. En hoe verder weg de klanten zitten, hoe groter de kans dat ze niet komen of naar een concurrent gaan. Voor een bedrijf kan het zinvol te zijn om onderscheid te maken naar de bereikbaarheid per vervoerwijze, bv. auto en openbaar vervoer. Naast de bereikbaarheid voor klanten kan ook de bereikbaarheid voor (potentiële) werknemers en die van voor leveranciers een rol spelen. In totaal levert dit 4 tot 5 bereikbaarheidsmaten per mogelijke locatie (2 voor de klanten, 2 voor de werknemers en 1 voor de leveranciers).

Bij de locatiekeuze van huishoudens geldt een soortgelijke redenering, alleen is het belang andersom. Het gaat nu niet om klanten die het huishouden kunnen bereiken, maar om de activiteiten die vanuit de locatie bereikt kunnen worden. Ook hier spelen verschillende vervoerwijzen en verschillende typen activiteiten een rol. Bij activiteiten kan het gaan om arbeidsplaatsen, scholen, winkelcentra, recreatievoorzieningen en medische voorzieningen. Wordt ook nog onderscheid gemaakt naar vervoerwijzen, dan loopt het aantal bereikbaarheidsmaten per locatie snel op: bij 5 typen activiteiten en 2 vervoerwijzen al 10 mogelijke maten.

Voor elke invalshoek geldt echter dat de bereikbaarheid kan worden bepaald met de eerder gegeven formule. Afhankelijk van het soort bereikbaarheid verschilt de keuze voor de massa, de definitie van de weerstand en/of de weerstandsgevoeligheidsfunctie. Als een bedrijf kijkt naar de bereikbaarheid voor klanten dan zal de massa worden bepaald door het aantal inwoners of het aantal inwoners in de specifieke doelgroep. De definitie van de weerstand (afstand, reistijd of reiskosten) en de relevante vervoerwijze(n) is afhankelijk van het product dat het bedrijf verkoopt. Dit geldt ook voor de weerstandsgevoeligheidsfunctie: voor meubelen willen mensen verder reizen dan voor vers brood.

De afweging tussen locaties is dan een complexe afweging tussen een groot aantal factoren. Hiervoor kunnen technieken als multi-criteria analyse (MCA) worden gebruikt of keuzemodellen (zie 3.2.2).

2.3.2 Locatiekeuze met distributie-planologische modellen

Een geheel andere benadering om voorzieningen in de ruimte te allokeren zijn distributie-planologische modellen. Een voorbeeld hiervan is een hiërarchische benadering.

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.

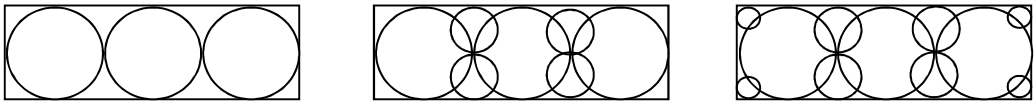
De hiërarchie wordt geïntroduceerd door voor een verzameling bij elkaar gelegen voorzieningen de aanvaardbare vervoersafstand vast te stellen. Bij het vaststellen van de omvang en locatie van openbare voorzieningen dient primair de geografische begrenzing van het gebied te worden bepaald waarbinnen de 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 2.2 VOORZIENINGEN PER SCHAALNIVEAU.

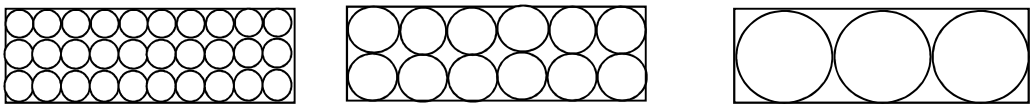
De methode wordt toegepast in twee stappen. In stap één wordt een algoritme gebruikt om het aantal voorzieningen vast te stellen. In de tweede stap worden de voorzieningen gelokaliseerd waarbij de vervoersafstanden voor de gebruikers worden geminimaliseerd.

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. Zoals het voorbeeld laat zien worden de lagere niveaus gebruikt om de "gaten" van de hogere niveaus te dichten.



FIGUUR 2.3 HIËRARCHISCHE SPREIDING VANUIT HET HOOGSTE NIVEAU

Natuurlijk kan dit hiërarchisch principe ook andersom worden toegepast. In dat geval is het laagste niveau het vertrekpunt. Deze benadering leidt tot een gelijkmatigere verdeling van voorzieningen dan de methodiek vanuit het hoogste hiërarchische niveau.



FIGUUR 2.4 HIËRARCHISCHE SPREIDING VANUIT HET LAAGSTE NIVEAU.

2.4 Ruimtelijke interactiemodellen

Bij ruimtelijke interactiemodellen staat de vraag centraal hoe bijvoorbeeld de woningen over een gebied worden verdeeld gegeven de locatie van de arbeidsplaatsen en het beschikbare netwerk. Ook hier worden twee benaderingen behandeld. Het eerste model, het Hansen-model, verdeelt eenvoudig de toe te delen grootheid, bijvoorbeeld woningen, over de mogelijke locaties. Bij het tweede model, het Lowry-model, is de complexiteit vergroot doordat apart wordt gekeken naar de ruimtelijke spreiding van inwoners en naar de ruimtelijke spreiding van de arbeidsplaatsen die afhankelijk zijn van de aantallen inwoners. Een model met een typisch voorbeeld van de cirkel-relatie in het ruimtelijk systeem: inwoners kiezen hun locatie op basis van arbeidsplaatsen, maar een deel van de arbeidsplaatsen kiezen hun locatie gegeven de locatie van de inwoners.

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.

2.4.1 Hansen's Potential Model

Hansen's model (Hansen 1959, Lee 1973) 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.

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

$$B_{ij} = \frac{M_j}{d_{ij}^b}$$

VERGELIJKING 2.7

B_{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 bereikbaarheid van zone i is de som van alle afzonderlijke bereikbaarheidsindices, inclusief die van zone i zelf.

$$B_i = \sum_{j=1}^{n} B_{ij} = \sum_{j=1}^{n} \frac{M_j}{d_{ij}^b}$$

VERGELIJKING 2.8

Het volume dat door een zone wordt aangetrokken wordt naast de bereikbaarheid ook bepaald door het aantal beschikbare terrein, of de oppervlakte daarvan, dat geschikt is voor die functie. Hansen noemt dit de capaciteit (H_i) van een gebied. Het kan immers best mogelijk zijn dat er bij de best bereikbare locatie weinig ruimte beschikbaar is. Door vermenigvuldiging van de bereikbaarheid met de capaciteit kan een maat voor de ontwikkelingspotentie (D_i) van een zone worden verkregen.

$$D_i = B_i \cdot H_i$$

VERGELIJKING 2.9

De toe te delen grootheid wordt nu verdeeld op basis van de relatieve ontwikkelingspotentie van elke zone:

$$\frac{D_i}{\sum_{k=1}^{n} D_k} = \frac{B_i \cdot H_i}{\sum_{k=1}^{n} B_k \cdot H_k}$$

VERGELIJKING 2.10

Met andere woorden: Hansen veronderstelt dat de verdeling van toe te delen grootheid 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:

$$G_i = G_t \cdot \frac{D_i}{\sum_{k=1}^{n} D_k} = G_t \cdot \frac{B_i \cdot H_i}{\sum_{k=1}^{n} B_k \cdot H_k}$$

VERGELIJKING 2.11

Afhankelijk van de toepassing (keuze van G: (groei van) inwoners of arbeidsplaatsen of...) moeten dus de juiste waarden voor M en d worden gekozen. Vuistregel is overigens dat als je grootheid g wil verdelen je voor de massa M niet weer de grootheid g gebruikt. Het Hansen-model kan bijvoorbeeld worden gebruikt om het effect op de verdeling van de bevolking bij ruimtelijke maatregelen te bepalen, bijvoorbeeld door het specificeren van alternatieve verdelingen van de werkgelegenheid, alternatieve reistijden en verschillende wooncapaciteiten. Een aparte toepassing van Hansen-model is het als je bijvoorbeeld alle inwoners verdeelt. Met zo'n analyse kan je bekijken in welke mate het model de werkelijkheid representeert.

Algoritme voor het Hansen-model

1 Bepaal voor elke zone de waarde voor de massa M_i en de capaciteit H_i
2 Bepaal de afstanden (of reistijden) d_{ij} tussen alle zones i en j
3 Bepaal voor elke zone i de bereikbaarheid B_i
    3.1 Bepaal voor elke zone j de bereikbaarheidsindex B_{ij}
    3.2 Sommeer de bereikbaarheidsindices B_{ij} over alle j
4 Bepaal voor elke zone i de ontwikkelingspotentie D_i
    4.1 Vermenigvuldig de bereikbaarheid B_i met de capaciteit H_i
5 Bepaal voor elke zone i de ontwikkelingspotentie
6 Verdeel de toe te delen grootheid over de zones op basis van de relatieve ontwikkelingspotentie

2.4.2 Het Lowry model

Het Hansen-model geeft in een keer de verdeling van bijvoorbeeld de inwoners op basis van de arbeidsplaatsen. Het Lowry-model (Lowry 1964, Lee 1973) gaat een stap verder. Lowry maakt onderscheid tussen arbeidsplaatsen die min of meer aan een locatie zijn gebonden, de basiswerkgelegenheid, en arbeidsplaatsen die een directe relatie hebben met de inwoners van een gebied, de dienstenwerkgelegenheid. Voorbeelden van basiswerkgelegenheid zijn de arbeidsplaatsen bij havens, grondstofwinning, (zware) industrie, landbouw en centrale overheidsdiensten. De dienstensector heeft zoals gezegd een directe relatie met inwoners, en betreft sectoren zoals winkels, scholen, financiële voorzieningen, gezondheidsdiensten, vrijetijdsvoorzieningen, enzovoort.

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.

Dit onderscheid in typen werkgelegenheid is gebaseerd op de economische basistheorie, waarin twee sectoren worden 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 (α). Anders gezegd, de bevolkingsmultiplier is de verhouding tussen huishoudgrootte en het aantal arbeidsplaatsen.

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 diensten-bevolkingsomvang-ratio (β).

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 toenamen verwaarloosbaar klein zijn geworden. De som van toenamen is de voorspelde bevolkingsomvang en het voorspelde aantal banen in de dienstensector.

Voor de verdeling van de werknemers over de woonlocaties gebruikt het Lowry-model de bereikbaarheid. Verschil met het Hansen model is echter dat nu niet in één slag de totale (basis) bevolking wordt verdeeld, maar dat per gebied i de werknemers worden verdeeld over omliggende woonlocaties j. Hierbij wordt de volgende verdeelsleutel gebruikt:

$$WN_{ij} = AP_i \cdot \frac{MWN_j \cdot F_{wn}\left(z_{ij}\right)}{\sum_{k=1}^{n} MWN_k \cdot F_{wn}\left(z_{ik}\right)}$$

$$INW_j = \alpha \cdot \sum_{i=1}^{n} WN_{ij}$$

VERGELIJKING 2.12

WN_{ij} = aantal werknemers dat in j woont en in i werkt
AP_i = aantal arbeidsplaatsen in i
MWN_j = massa of aantrekkelijkheid voor wonen voor j
F_{wn} = weerstandsgevoeligheidsfunctie voor werknemers
Z_{ij} = weerstand voor verplaatsingen van i naar j
INW_j = aantal inwoners in j
α = verhouding inwoners per arbeidsplaats (bevolkingsmultiplier)

De noemer bij deze verdeelsleutel is de bereikbaarheidsindex van gebied i voor wonen. Dit betekent dat de verdeling dus plaatsvindt op basis van de bijdrage van gebied j aan de bereikbaarheid van gebied i. Dit is dus duidelijk anders dan het principe in het Hansen-model.

Gegeven de verdeling van de basisbevolking kunnen de arbeidsplaatsen in de dienstensector op vergelijkbare wijze worden verdeeld:

$$APD_{ij} = \beta \cdot INW_j \cdot \frac{MAD_i \cdot F_{ad}\left(z_{ij}\right)}{\sum_{k=1}^{n} MAD_k \cdot F_{ad}\left(z_{kj}\right)}$$

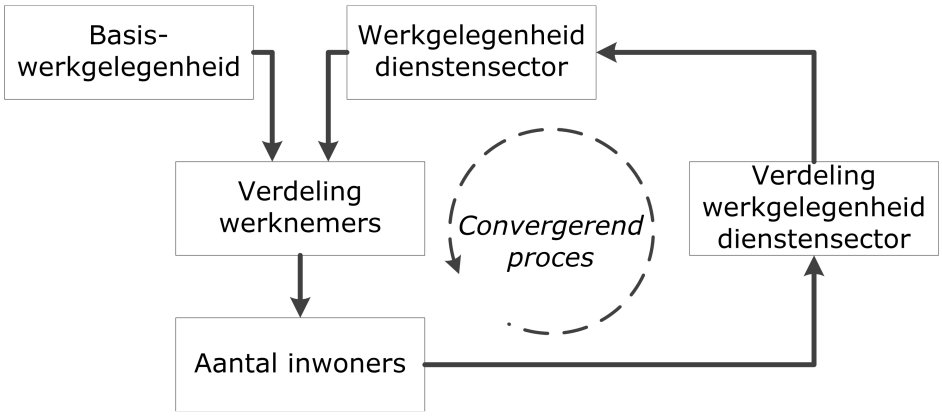
VERGELIJKING 2.13

$$APD_i = \sum_{j=1}^{n} APD_{ij}$$

APD_{ij} = aantal arbeidsplaatsen in de dienstensector in i voor inwoners uit j
β = verhouding arbeidsplaatsen dienstensector per inwoner (diensten-bevolkingsomvang-ratio)
MAD_i = massa of aantrekkelijkheid voor werkgelegenheid dienstensector voor i
F_{ad} = weerstandsgevoeligheidsfunctie voor gebruik dienstensector

Merk op dat bij het tweede verdelingsvraagstuk de indices i en j zijn verwisseld. Bij het eerste vraagstuk worden de werknemers voor gebied i verdeeld over woongebieden j, en bij het tweede de arbeidsplaatsen in de dienstensector voor woongebied j over de gebieden i. Deze tweede verdeling leidt dus tot nieuwe arbeidsplaatsen in gebied i, waarvoor vervolgens weer de werknemers moeten worden verdeeld over de woonzones. Voor deze nieuwe inwoners zijn weer banen in de dienstensector nodig, enzovoort.

In figuur 2.5 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 het aantal werknemers wonend in zone i en werkend in de basissector in elke zone j, worden berekend. Met behulp van de bevolkingsmultiplier wordt de basisbevolking in elke zone i berekend. Met behulp van de diensten-bevolkingsomvang-ratio wordt vervolgens de toename in banen in de dienstensector berekend en wordt die verdeeld over de verschillende zones j.



FIGUUR 2.5 STROOMDIAGRAM LOWRY-MODEL

Op dezelfde manier kan telkens de toename en locatie van de bevolking worden bepaald die afhankelijk is van de toename en locatie van het aantal banen in de dienstensector. Dit proces herhaalt zich totdat de toenamen van bevolking en het aantal banen in de dienstensector verwaarloosbaar klein zijn geworden.

Algoritme voor het Lowry-model

1 Bepaal voor elke zone i het aantal arbeidsplaatsen in de basissector AP_i, de aantrekkelijkheid voor wonen MWN_i en de aantrekkelijkheid voor arbeidsplaatsen in de dienstensector MAD_i
2 Bepaal de multipliers α en β voor respectievelijk de verhouding inwoners per werknemer en de verhouding arbeidsplaatsen dienstensector per inwoner
3 Bepaal de weerstanden (afstanden of reistijden) z_{ij} tussen alle zones i en j
4 Verdeel de werknemers over de zones en bereken het aantal inwoners per zone
  4.1 Voor elke zone i
    4.1.1 Bepaal de bijdrage van elke zone j aan de bereikbaarheid voor wonen van zone i
    4.1.2 Sommeer de bijdragen van alle zones j (=bereikbaarheid of potentiaalwaarde zone i)
    4.1.3 Verdeel de werknemers van zone i over de zones j op basis van de bijdrage van de zone j aan de bereikbaarheid voor wonen van zone i
  4.2 Voor elke zone j
    4.2.1 Sommeer de werknemers in j afkomstig uit de zones i
    4.2.2 Vermenigvuldig de werknemers met de bevolkingsmultiplier α
5 Verdeel de arbeidsplaatsen in de dienstensector
  5.1 Vermenigvuldig voor elke zone j het aantal inwoners met de diensten-bevolkingsomvang ratio β
  5.2 Voor elke zone j
    5.2.1 Bepaal de bijdrage van elke zone i aan de bereikbaarheid voor arbeidsplaatsen in de dienstensector van zone j
    5.2.2 Sommeer de bijdragen van alle zones i (=bereikbaarheid of potentiaalwaarde zone j)
    5.2.3 Verdeel de arbeidsplaatsen in de dienstensector van zone j over de zones i op basis van de bijdrage van de zone i aan de bereikbaarheid voor arbeidsplaatsen in de dienstensector van zone j
  5.3 Voor elke zone i
    5.3.1 Sommeer de werknemers in de dienstensector in i afkomstig uit de zones j
6 De stappen 4 en 5 worden iteratief herhaald.
  6.1 In de eerste iteratie gebruik je de arbeidsplaatsen van de basiswerkgelegenheid in zone i
  6.2 In de vervolgstappen gebruik je steeds de laatst berekende arbeidsplaatsen in de dienstensector in zone i
  6.3 De berekening stopt als de aantallen inwoners in stap 4 te klein worden
  6.4 Het totaal inwoners in zone j is de som over alle iteraties van inwoners in zone j uit stap 4.2.2.
  6.5 Het totaal aantal arbeidsplaatsen in de dienstensector in zone i is de som over alle iteraties van de arbeidsplaatsen zone i uit stap 5.3.1.

Opmerking
Als je een matrixstructuur gebruikt met als rijen de zones i en als kolommen de zones j dan verdeel je in stap 4.1 de werknemers over de rijen en bepaal je in stap 4.2 de totalen per kolom. In stap 5.2 verdeel je de arbeidsplaatsen in de dienstensector over de kolommen en in stap 5.3 bepaal je het totaal per rij.

3 TRANSPORTSYSTEEM

In dit hoofdstuk gaan we nader in op de belangrijkste karakteristieken van het transportsysteem. Het meest belangrijke element hierbij zijn de verplaatsingen zelf, of beter gezegd de verplaatsingspatronen. Deze zijn immers het gevolg van de interactie tussen de ruimtelijke spreiding van activiteiten (resultaat van het ruimtelijk systeem) en de kenmerken van de vervoerdiensten en verkeersdiensten. Aanbod komen de belangrijkste karakteristieken van de verplaatsingspatronen en de (vele) manieren waarop verplaatsingspatronen kunnen worden gespecificeerd.
Tweede onderwerp in dit hoofdstuk is het keuzeproces in het transportsysteem (maar ook in het ruimtelijke systeem) en de manier waarop deze keuzeprocessen kunnen worden gemodelleerd. Hierbij maken we gebruik van gebruik van het begrip nutsmaximalisatie uit de micro-economie en beschrijven we het veel gebruikte logit-model.
Tenslotte kijken we hoe het transportsysteem wordt gemodelleerd in verkeers- en vervoermodellen die voor prognosestudies worden gebruikt. Hierbij wordt veel gebruik gemaakt van het zogenaamde 4-fasen of 4-stapsmodel waarin stapsgewijs wordt berekend wat in de toekomst het gebruik van het wegennet en/of het openbaarvervoernetwerk kan zijn.

3.1 Verplaatsingspatronen

3.1.1 Hoofdbegrippen

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. Daarnaast zijn de eisen die de te vervoeren personen en goederen aan het vervoer stellen bepalend voor de vraag welke vervoerdiensten geschikt zijn.

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.

Bij de gegeven cijfers is (uitzonderingen daargelaten) geen onderscheid gemaakt naar de verschillende vervoerwijzen. Merk op dat de verplaatsingspatronen niet een absoluut gegeven zijn. De omvang en samenstelling van de vervoervraag is niet alleen afhankelijk van externe gegevens maar ook van de aanbodkant van het vervoer- en verkeerssysteem. Verplaatsingspatronen zijn het resultaat van deze interactie op de vervoersmarkt.

Personenverplaatsingen

Verplaatsingen

Om activiteiten buitenshuis te kunnen uitoefenen zijn afstandsoverbruggingen nodig tussen activiteitenruimten. Een personenverplaatsing is de afstandsoverbrugging van een persoon tussen een activiteitplaats van herkomst (herkomstadres) en een activiteitplaats 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 activiteitenruimte (kantoor, winkel) op de plaats van bestemming. Is de bestemming echter de eigen woning, dan wordt het verplaatsingsmotief bepaald door de activiteit op het herkomstadres

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

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 activiteitenruimten terugkeert naar de basis. Bij het personenvervoer is de woning de belangrijkste basis: de woninggebonden ketens omvatten meer dan 94% 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 (70%) 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 (10%) bestaat slechts uit één verplaatsing: dit betreft een eindje toeren of wandelen;
- De overige ketens (20%) bestaan uit verbindingen van drie of meer activiteitenruimten (inclusief basis).

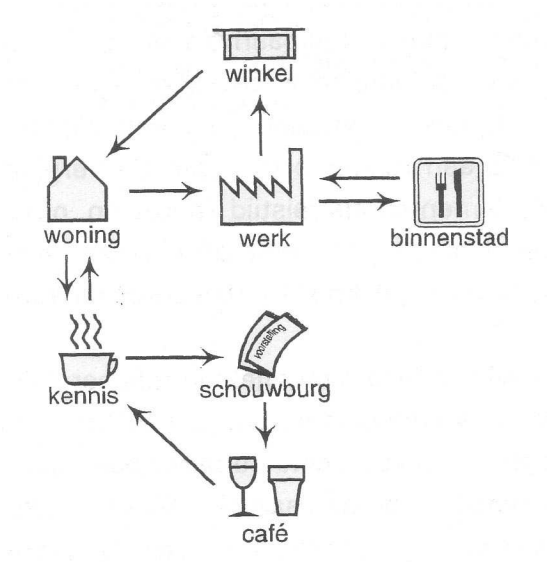
De meest voorkomende keten is de woon - winkel - woon – keten (13%). Het aantal ketens per persoon per dag is circa 1,3. Tabel 3.1 geeft het aantal ketens per persoon per dag (voor alle personen), waarbij onderscheid is gemaakt tussen het huis- en elders-gebonden ketens.

aantal verplaatsingen per keten	huis-gebonden	elders-gebonden
1	0,10	0,03
2	0,85	0,04
3 of meer	0,25	0,01

TABEL 3.1: AANTAL KETENS PER PERSOON PER DAG (ALLE PERSONEN), BRON: OVIN-DATABESTAND 2012

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 3.1.



FIGUUR 3.1: VERPLAATSINGENKETEN

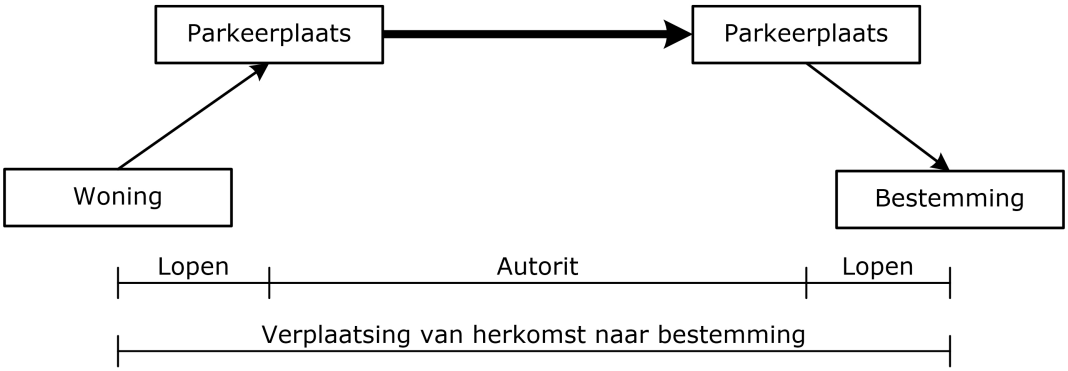
De reiziger formeert zo gunstig mogelijke verplaatsingenketens om maximaal nut uit de te verrichten activiteiten te halen. Het verplaatsingskeuzegedrag, vooral de vervoerwijze- en bestemmingskeuze, wordt bepaald door de kenmerken van de hele keten, niet door die van de afzonderlijke verplaatsingen.

Geleding van verplaatsingen

Tijdens een verplaatsing kunnen achtereenvolgens verscheidene vervoerwijzen worden gebruikt. Zo'n verplaatsing is 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. Doorgaans wordt aan een verplaatsing een hoofdvervoerwijze gekoppeld, namelijk die waarmee de grootste afstand wordt afgelegd.

Typische ritketens zijn:

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



FIGUUR 3.2 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.

Goederenverplaatsingen

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.

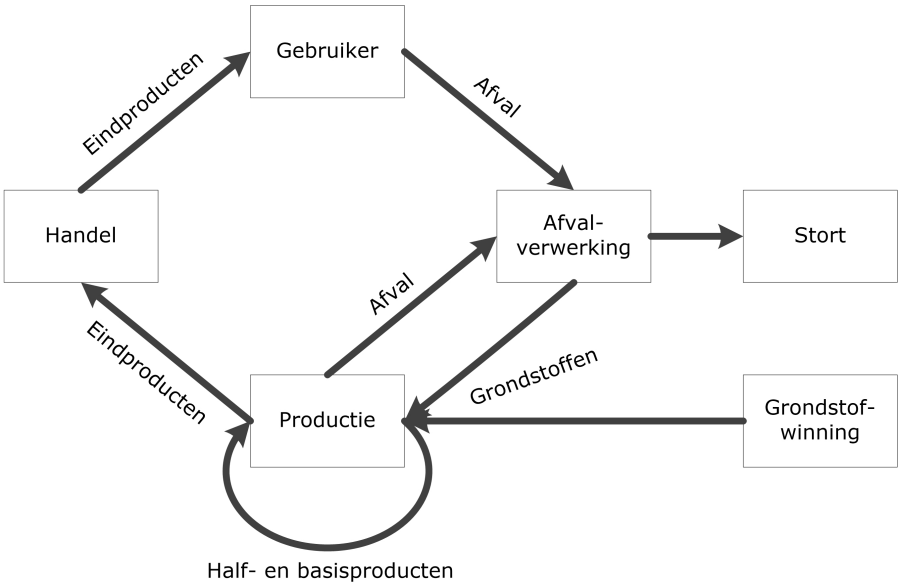
Activiteit	Aanvoer[1]	Afvoer[2]
Vind-/winplaatsen	-	grondstoffen
Agrarische bedrijven	meststoffen, veevoer	agrarische producten
productie halffabricaten	grondstoffen	halfproducten, componenten
Productie eindproducten	grondstoffen, halffabricaten, componenten	eindproducten, componenten
Handel	eindproducten, componenten[2]	eindproducten
Huishoudens en diensten	eindproducten	afval

TABEL 3.2: 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 3.3 weergegeven.

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.

[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)



FIGUUR 3.3: PRODUCTKETEN

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.

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.

3.1.2 Verplaatsingskenmerken personenvervoer

OVG, MON en OViN

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 (Mobiliteits Onderzoek 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.

In 2010 is het MON vervangen door het Onderzoek Verplaatsingen in Nederland (OViN). Bij deze nieuwe opzet wordt ook gebruik gemaakt van internet. Verder worden alleen personen geënquêteerd in plaats van huishoudens. De steekproef omvat jaarlijks meer dan 40.000 personen. De gegevens in de volgende paragrafen zijn grotendeels gebaseerd op de meest recente gegeven: het OViN 2012.

Kanttekening hierbij is dat door het veranderen van de enquêtemethodiek en toenemende problematiek met de non respons de verschillende onderzoeken niet altijd goed op elkaar aansluiten. Bij verschillen tussen onderzoeksjaren is het dus altijd van belang om te kijken of dit het resultaat is van (verschillen in) de meetmethodiek of dat het echt gaat om veranderingen in het verplaatsingsgedrag. Het OViN wijkt bijvoorbeeld af van een aantal kengetallen uit het MON en OVG. Deels kan dit worden verklaard door bijvoorbeeld economische recessie van de afgelopen jaren en mogelijk ook door daadwerkelijke veranderingen in het gedrag, maar een tweede reden kan dus ook de gewijzigde onderzoeksopzet zijn. Dit is momenteel nog een punt van onderzoek.

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 2,7 verplaatsingen per dag en 19 per week. Voor heel Nederland zijn dat ruim 45 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 verplaatsingenpatroon bepaald door enerzijds relatief constante kengetallen en anderzijds veranderlijke grootheden. Belangrijke variabelen op microniveau zijn autobezit, inkomen, leeftijd, huishoudensituatie en geografische locatie van het huishouden. Belangrijke variabelen 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.

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 verplaatsingenpatroon 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 2,7 per dag (zie ook Tabel 3.3). 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 ontplooien 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 2.7 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 betrekkelijke 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 2012 groeide de gemiddelde verplaatsingsafstand met circa 20% van circa 9 naar circa 11 km. Aangezien de gemiddelde reistijd onveranderd bleef, ging deze afstandsgroei gepaard met (en werd mede veroorzaakt door) een algemene snelheidstoename. Stabielere 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.

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	0,47	17,4	8,3	27,8	18	10
Zakelijk (werk)	0,04	1,5	1,5	4,9	38	18
Onderwijs	0,28	10,4	1,7	5,8	6	2
Winkelen	0,56	20,7	2,5	8,4	4	2
Visite/logeren	0,36	13,3	4,9	16,4	14	4
Ontspanning/sport	0,48	17,8	4,6	15,3	10	3,5
Toeren/wandelen	0,16	5,9	0,9	3,2	6	2,5
Overig	0,36	13,3	5,4	18,0	15	3
Totaal	**2,70**	**100**	**29,8**	**100**	**11**	**3,5**

TABEL 3.3: KERNCIJFERS MOBILITEIT PER MOTIEF [BRON: OVIN-DATABESTAND 2012]

Van alle verplaatsingen gaat 83% van of naar de woning. 17% 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 29,8 km af: de gemiddelde verplaatsing is dus ongeveer 11 km lang, maar de helft van de verplaatsingen is korter dan 3,5 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. Circa 4,5% 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 (4 km); 75% van alle winkelverplaatsingen blijft binnen de eigen woonplaats (50% is korter dan 2 km).

De woon-werkverplaatsingen vormen (maar) iets meer dan 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 10 km). Het aandeel autobestuurder bij woon-werkverplaatsingen is 54% en in verplaatsingskilometers 70%. 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.

Afstand [km]	**Werk**	**Zakelijk**	**Onderwijs**	**Winkel**	**Visite**	**Ontspanning**	**Toeren**	**Overig**	**Totaal**
0.00-2.50	18,5	13,1	57,5	58,9	36,0	39,7	49,6	45,2	**42,2**
2.50-5.00	13,2	10,9	15,0	17,6	15,9	18,6	19,8	17,0	**16,5**
5.00-5.50	12,7	10,4	8,9	10,1	12,3	13,4	12,5	11,1	**11,6**
7.50-10.0	5,9	4,9	3,6	3,0	4,8	4,5	3,0	4,2	**4,3**
10.0-12.5	8,2	5,0	3,5	3,4	6,0	5,6	3,9	5,0	**5,3**
12.5-15.0	3,1	1,4	1,2	0,6	1,8	1,1	0,7	1,6	**1,5**
<15	61,6	45,7	89,7	93,6	76,7	82,9	89,6	84,0	**81,2**
15-30	18,8	14,2	5,8	4,2	9,5	8,7	5,6	7,8	**9,2**
30-45	9,3	11,1	1,7	1,0	4,5	3,2	2,2	2,9	**3,9**
45-60	4,3	5,8	1,2	0,4	2,2	1,4	1,1	1,0	**1,8**
>60	6,0	23,2	1,6	0,7	7,1	3,8	1,5	4,3	**4,0**
Tot.	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**
Tot. #	**0,47**	**0,04**	**0,28**	**0,56**	**0,36**	**0,48**	**0,16**	**0,36**	**2,7**

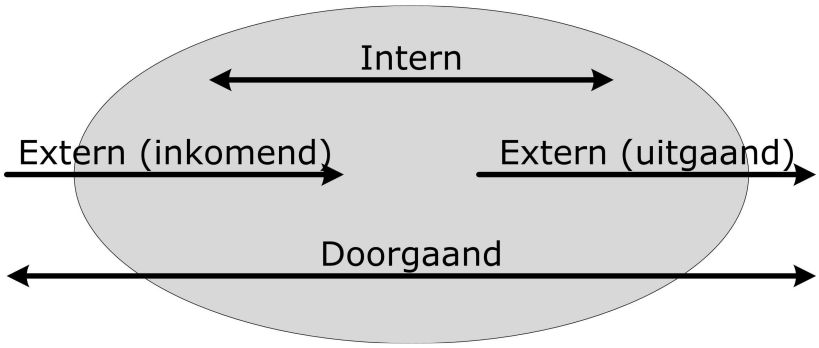
TABEL 3.4: PROCENTUELE VERDELING VAN DE VERPLAATSINGEN OVER DE AFSTANDSKLASSEN PER MOTIEF [BRON: OVIN-DATABESTAND 2012]

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 38 km, zakelijk vervoer is in dat opzicht de koploper onder de motieven.

De afstandsverdelingen van de verplaatsingen verschillen duidelijk per motief (Tabel 3.4): 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 ook Figuur 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.



FIGUUR 3.4: VERSCHILLENDE VERPLAATSINGEN

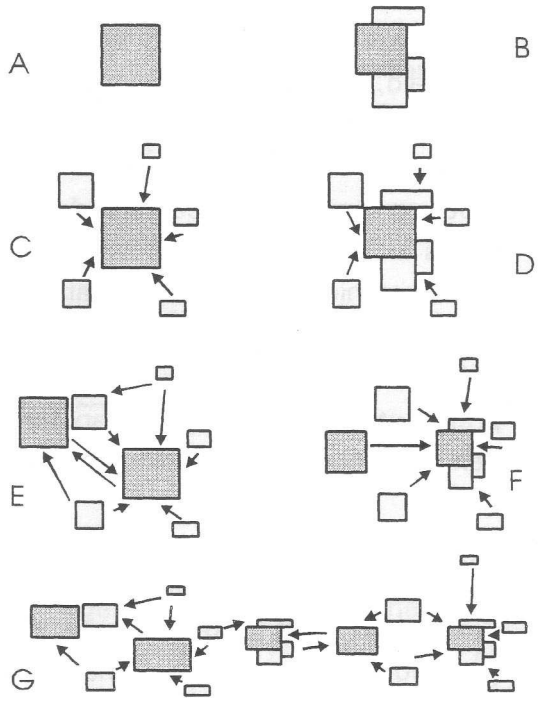
Indien het studiegebied een gemeente is, spreekt men ook wel van lokale (interne) en interlokale (externe) verplaatsingen. Indien het studiegebied een regio is, spreekt men van regionale en interregionale verplaatsingen. Het is zaak het ruimtelijk schaalniveau in de gaten te houden, daar op verschillende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

Nog steeds vindt het grootste deel van de personenmobiliteit (circa 70%) plaats binnen de eigen woongemeente, althans gemeten in aantallen verplaatsingen. Qua vervoerprestatie is echter circa 80% 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 3.5: 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 verplaatsingenpatronen 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.

Onderscheid naar 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 $^1/_3$ van deze kilometers het gevolg van interne verplaatsingen; $^2/_3$ 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	4,2	24,9	2,6	54,3	4,2	2,1	1,5	5,2	1,2	**100**	17,3
Zakelijk	4,5	9,4	0,4	71,4	6,3	0,4	0,4	4,5	2,2	**100**	1,4
Onderwijs	19,8	47,5	0,9	5,7	13,7	4,8	1,6	4,7	1,2	**100**	10,4
Winkelen	21,0	29,6	0,9	31,4	13,2	1,5	0,8	0,5	1,1	**100**	20,7
Visite	13,2	21,9	1,2	34,2	24,7	1,2	0,8	1,9	0,9	**100**	13,3
Ontspanning	16,6	29,3	1,0	26,7	21,4	1,3	0,9	1,7	1,2	**100**	17,8
Toeren	67,8	15,6	0,7	7,1	6,0	0,4	0,2	0,3	1,8	**100**	6,7
Overig	13,2	21,6	0,6	44,2	15,7	1,5	0,5	1,0	1,7	**100**	12,3
Totaal	**18.1**	**27.3**	**1.2**	**32.8**	**14.4**	**1.8**	**0.9**	**2.2**	**1.2**	**100**	**100,0**

TABEL 3.5: PROCENTUELE VERDELING VAN DE VERPLAATSINGEN OVER DE VERVOERWIJZEN PER MOTIEF [BRON: OVIN-DATABESTAND 2012]

Motief	Lopen	Fiets	Brom-/snorfiets-	Autobestuurder	Autopassagier	Bus, touringcar	Tram, metro	Trein	Overig	Totaal	Aandeel motief
Werk	0,4	5,7	1,6	69,9	5,8	1,7	0,8	12,5	1,4	**100**	27,9
Zakelijk	0,3	0,9	0,2	81,5	7,7	0,4	0,1	6,5	2,5	**100**	4,8
Onderwijs	2,0	20,5	1,2	18,7	10,7	12,4	2,4	29,3	2,6	**100**	6,6
Winkelen	4,4	13,1	0,8	46,6	24,6	2,3	1,0	5,7	1,4	**100**	8,8
Visite	0,8	4,4	0,8	46,2	35,6	1,2	0,5	9,4	1,0	**100**	18,3
Ontspanning	2,2	8,6	0,8	39,9	35,8	2,0	0,7	8,3	1,6	**100**	17,3
Toeren	26,3	26,0	3,3	18,4	19,2	1,0	0,3	1,4	4,1	**100**	4,2
Overig	1,1	4,3	0,3	55,3	28,2	1,8	0,3	5,5	3,1	**100**	12,2
Totaal	**2.4**	**8.1**	**1.1**	**51.6**	**21.8**	**2.3**	**0.7**	**10.1**	**1.8**	**100**	**100,0**

TABEL 3.6: PROCENTUELE VERDELING VAN DE VERPLAATSINGSKILOMETERS BINNEN NEDERLAND OVER DE VERVOERWIJZEN PER MOTIEF [BRON: OVIN-DATABESTAND 2012]

Tijdpatronen personenverplaatsingen

De vraag naar vervoer, het verplaatsingenpatroon, 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.

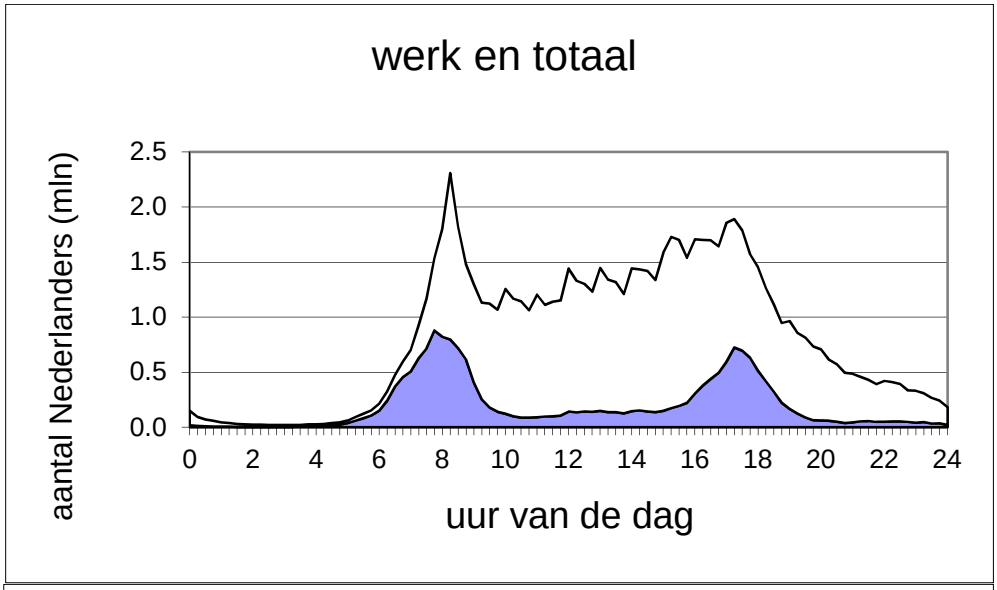
Om pieken in de vervoervraag af te vlakken en zodoende een beter en goedkoper vervoer aan te kunnen bieden, wordt op allerlei manieren geprobeerd het tijdstipkeuzegedrag van de consument te beïnvloeden. Dit kan allereerst gebeuren aan de activiteitenkant: vakantiespreiding, variabele werktijden, ruimere 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).

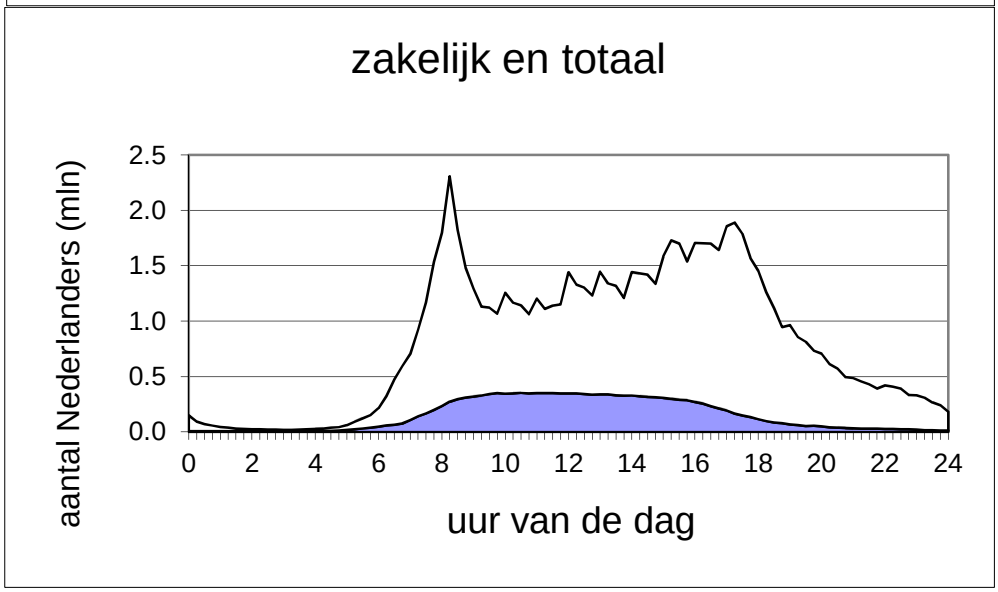
Het dagritme van de vervoervraag wordt gekenmerkt door duidelijke ochtend- en namiddagpieken en door zeer weinig vervoer 's nachts. De oorzaken zijn bekend: een vrij vast patroon van werk-,

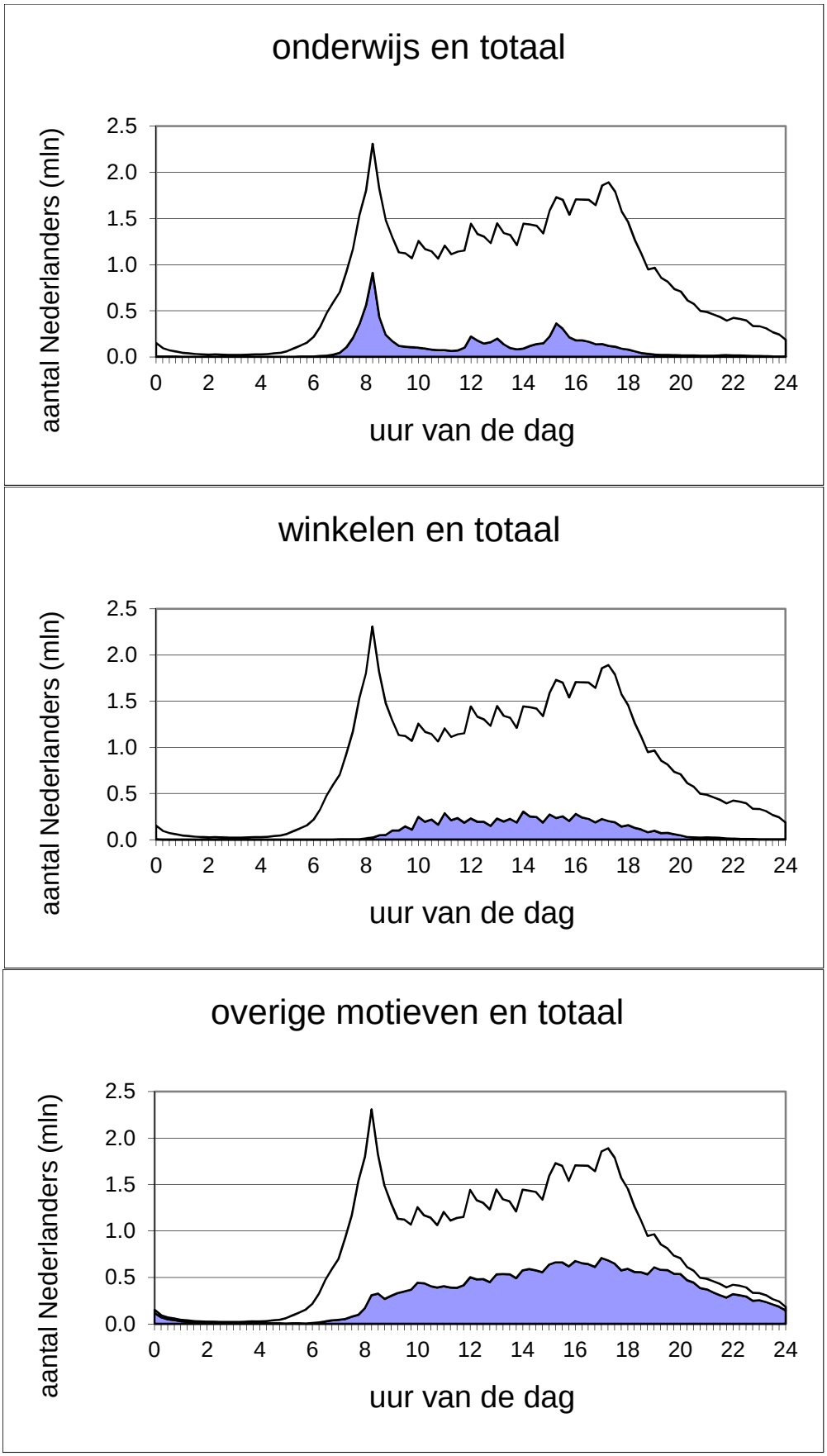
school-, winkelopeningstijden en andere regimes voor activiteiten (concerten, theaters). Doorgaans is er sprake van twee zeer duidelijke pieken: omstreeks 8 uur 's morgens en rond 17.00 uur 's middags. Afhankelijk van de omstandigheden (binnenstedelijk/interlokaal, auto/ov, autosnelweg/trein) bestaan allerlei variaties in ligging en hoogte van deze twee pieken. Figuur 3.6 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 aankomsttijdstip,
- het midden tussen aankomst- en vertrektijdstip nemen,
- voor elke periode nagaan hoeveel mensen onderweg zijn (gedaan in Figuur 3.6).







FIGUUR 3.6: TIJDSTIPPEN VAN ONDERWEG ZIJN OP EEN WERKDAG NAAR MOTIEF; BRON: OVIN-DATABESTAND 2012

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.

Overigens moet worden opgemerkt dat deze verdeling van de motieven over de dag geldt voor een gemiddelde werkdag en voor alle verplaatsingen. Voor specifieke selecties zoals voor bepaalde vervoerwijzen zoals auto of openbaar vervoer, en zelfs voor selecties daarbinnen, bijvoorbeeld naar wegtype of trein in vergelijking met tram of bus, de percentages in de spits sterk kunnen verschillen!

De spitsvorming in de ochtend wordt vooral veroorzaakt door de activiteiten werken en onderwijs volgen. De avondpiek wordt voor een belangrijk deel 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 vervoersvolume 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 vervoerstromen in 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 treinconducteur), 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.

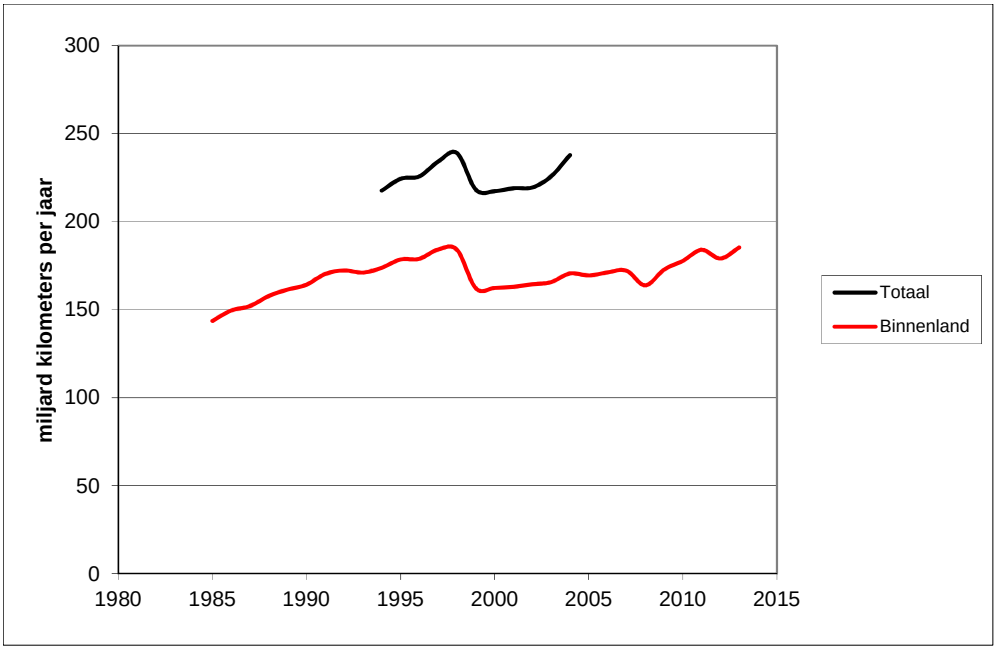
Ook het weekritme, het verloop in de vervoervraag van dag tot dag, is sterk bepaald door de afwisseling in activiteiten. Op zaterdagen en zondagen wordt er veel minder gewerkt en nauwelijks naar school gegaan, maar worden juist veel sociaal-recreatieve activiteiten verricht. Qua aantal verplaatsingen is er een groot verschil tussen zondag en de rest van de week. Het aantal verplaatsingen op zondag is slechts 65% van dat op vrijdag, de meest actieve dag met ruim 2,9 verplaatsingen per persoon per dag. De beperkte activiteit op zondag wordt volledig gecompenseerd door zeer grote verplaatsingsafstanden op die dag. Tabel 3.7 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 voor een werkdag en worden daarom meestal als onderzoekdagen voor verplaatsingsenquêtes uitgekozen.

	Totaal aantal verplaatsingen pppd	**Gemiddelde verplaatsings-lengte (km)**	**Totale prestatie (mln. personen-kilometers)**
Zondag	1,9	16,1	515
Maandag	2,7	10,5	476
Dinsdag	2,9	10,1	478
Woensdag	2,9	10,6	500
Donderdag	2,9	12,3	579
Vrijdag	2,9	10,6	507
Zaterdag	2,8	11,8	533
Totaal	**2,7**	**11,5**	**513**

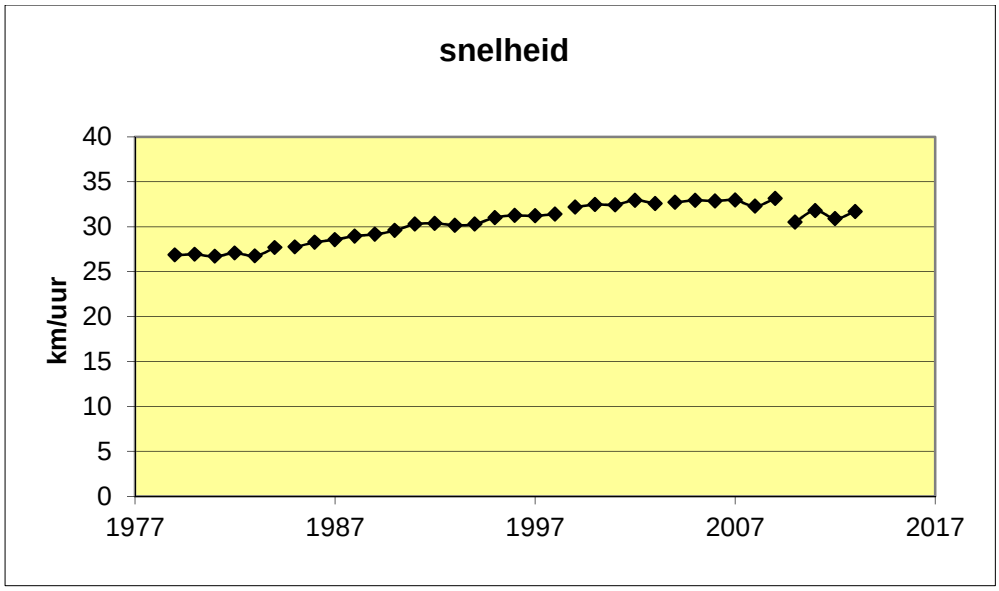
TABEL 3.7: DAGINDEX TEN OPZICHTE VAN WEEKGEMIDDELDE PERSONENMOBILITEIT [BRON OVIN-DATABESTAND 2012]

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 seizoenkrommes 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 seizoenafhankelijk: 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 3.7). 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 uithuizigheid 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 automobiliteit 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 (aanbodfactor) 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. De overgang naar het OViN in 2010 laat daarentegen een daling van de gemiddelde snelheid zien. Dit lijkt een effect van de onderzoeksmethode te zijn, maar het is nog niet duidelijk wat deze trendbreuk veroorzaakt.



FIGUUR 3.7: MOBILITEITSONTWIKKELING TUSSEN 1985 EN 2012 [BRON: OVG, MON EN OVIN VOOR MOBILITEIT OP NEDERLANDS GRONDGEBIED, CVO EN DATELINE VOOR MOBILITEIT OP BUITENLANDS GRONDGEBIED]



FIGUUR 3.8: ONTWIKKELING GEMIDDELDE VERPLAATSINGSSNELHEID TUSSEN 1979 EN 2012 (OVG, MON,OVIN)

3.1.3 Verplaatsingskenmerken goederenvervoer

Voor het goederenvervoer is de dataverzameling niet zo uitgebreid en consistent verzorgd als voor het personenvervoer. Deels heeft dit te maken met het feit dat veel betrokken bedrijven hun vervoersgegevens als concurrentiegevoelige informatie beschouwen. Over de tijd veranderen verder de definities en/of de aandachtsvelden van onderzoek. Zo zijn bij wegtransport in de loop der jaren de definitie verruimd naar kleinere, lichtere, vrachtauto's c.a. bestelwagens en is men ook lege ritten gaan registreren. Wat betreft aandachtsveld is het onderscheid tussen afgelegde kilometers tussen herkomst en bestemming en afgelegde kilometers op Nederlands grondgebied relevant. Consequentie is dat de kengetallen verschillende bronnen hebben en op verschillende jaren betrekking hebben.

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 2010 bedroeg het totaal vervoerde gewicht 1649 miljoen ton. Dat komt neer op ongeveer 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]	**1994** [%]	**2005** [mln ton]	**2005** [%]	**2010** [mln ton]	**2010** [%]
Zeevaart	375	28,9	487	29,8	568	34,4
Binnenvaart	266	20,5	279	17,1	263	15,9
Wegvervoer	538	41,4	708	43,4	670	40,6
Spoorvervoer	18	1,4	29	1,8	36	2,2
Luchtvaart	1	0,1	2	0,1	2	0,1
Pijpleiding	102	7,9	128	7,8	110	6,7
Totaal	**1299**	**100**	**1633**	**100**	**1649**	**100**

TABEL 3.8: VERVOERD VOLUME PER VERVOERWIJZE [BRON: GOEDERENVERVOERMONITOR, 2006, CBS STATLINE]

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

Vervoerprestatie	**Tonkm *mln**	**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 3.10: VERVOERPRESTATIE NEDERLAND 2003 [BRON: STATLINE, CBS]

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	48,7	5,6
Voedingsproducten, veevoeder	88,8	10,2
Vaste minerale brandstoffen	58,8	6,7
Aardolie en aardolieproducten	320,3	36,8
Ertsen en metaalresiduen	58,1	6,7
Metalen en metalen halffabricaten	30,3	3,5
Ruwe mineralen, bouwmaterialen	83,2	9,5
Meststoffen	12,7	1,5
Chemische producten	104,8	12,0
Overige goederen en fabricaten	65,5	7,5
Totaal	**871,3**	**100**

TABEL 3.11: VERVOER VAN, NAAR EN DOOR NEDERLAND 2010 [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 ertsen veelal in de Rotterdamse haven worden afgeleverd, zijn de transportafstanden van deze groep relatief groot.

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 entrepotinvoer vormen samen de aanvoer. Uitvoer, het uitgaande deel van doorvoer en entrepotuitvoer 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 goederenvervoerassen 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 uiteraard 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 3.12: VERKEERSPRESTATIE OP NEDERLANDS GRONDGEBIED PER VERVOERWIJZE [BRON: GOEDERENVERVOERMONITOR [BUS, 2006]]

3.2 Keuzen en keuzemodellering

In de cirkel van Wegener gaat het om een groot aantal keuzen: keuzen van politici en projectontwikkelaars om gebieden te ontwikkelen, van bedrijven en huishoudens om zicht ergens te vestigen en van individuen om op pad te gaan, een bestemming te kiezen, een vervoerwijze te gebruiken en om een bepaalde route te gebruiken. Als we het transportsysteem willen modelleren gaat het eigenlijk om het modelleren van deze keuzen van individuen. In deze paragraaf gaan we nader in op de theorie rond her maken van keuzen en beschrijven we het veel gebruikte logit-model.

3.2.1 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.

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 keuzeproces 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 keuzeproces 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.

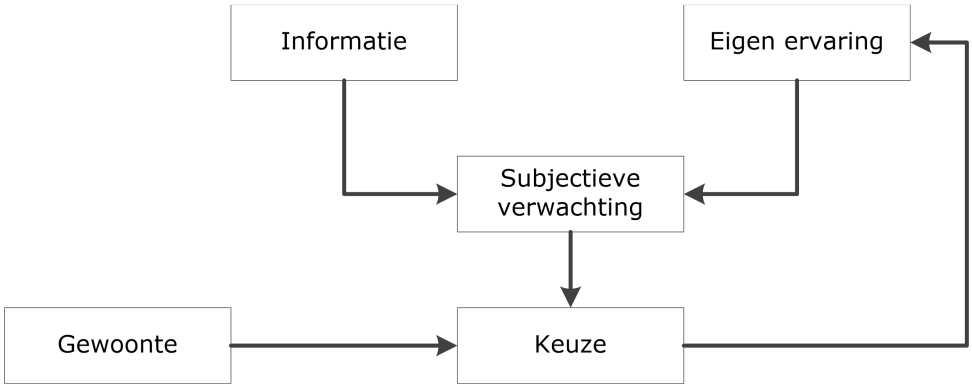
Keuzes worden gebaseerd op een subjectieve verwachting van de kwaliteit van de alternatieven in kwestie; dit is een persoonlijke perceptie (vooraf aan het maken van de keuze) van de sterke en zwakke punten van de verschillende alternatieven. Deze subjectieve verwachting wordt ontleend aan twee principieel 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 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 3.9: 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.

3.2.2 Theorievorming verplaatsingskeuzes

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 verkiezen 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:

$$\left\{N_j - N_i - z_{ij} > 0\right\} \qquad \textit{VERGELIJKING 3.1}$$

ofwel

$$\left\{N_j > N_i + z_{ij}\right\} \qquad \textit{VERGELIJKING 3.2}$$

Eenvoudigheidshalve 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:

$$N_j = \sum_{g=1}^{m_g} n_{jg} = \sum_{g=1}^{m_g} \beta_g \cdot X_{jg}$$ VERGELIJKING 3.3

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 beslissingsnemer (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 ontplooien, 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.

$$z_{ij} = \sum_{h=1}^{m_h} z_{ijh} = \sum_{h=1}^{m_h} \alpha_h \cdot Y_{ijh}$$ VERGELIJKING 3.4

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 reistijdwaardering (ook Value of time genoemd (VoT))is een belangrijke parameter in het verplaatsingskeuzegedrag. In onderstaande tabel zijn de waarden weergegeven zoals die door het Ministerie voor Infrastructuur en Milieu 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	Gemiddeld
Auto	9,25	26,25	7,50	**9,00**
Trein	11,50	19,75	7,00	**9,25**
Bus en tram	7,75	19,00	6,00	**6,75**
Alle vervoerwijzen	**8,20**	**27,56**	**5,47**	

TABEL 3.13: REISTIJDWAARDERING (VOT) PER MOTIEF EN PER VERVOERWIJZE [€/H] (EXCLUSIEF LOPEN EN FIETSEN, PRIJSPEIL 2010) [WARFFEMIUS 2013]

Het verplaatsingsoffer bij het goederenvervoer is op een soortgelijke wijze opgebouwd. Ook hiervoor zijn reistijdwaarderingen bepaald (Warffemius 2013). Zo is de gemiddelde reistijdwaardering voor vrachtwagens circa 40 €/h. De afzonderlijke kenmerken zijn echter sterk afhankelijk van het te vervoeren goed, de gekozen vervoerwijze(n) en de verplaatsingskenmerken. Iedere verlader beoordeelt deze kenmerken op een eigen wijze.

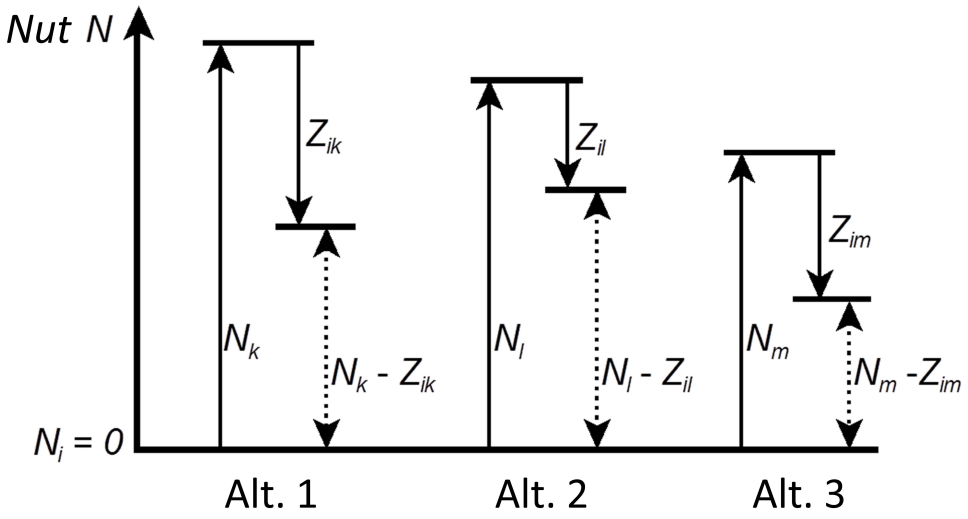
Merk op dat vervoerondernemingen, logistieke dienstverleners, overslagterminals en dergelijke leven van dit 'disnut'. Waar verladers en vervoerders trachten dit disnut te minimaliseren, zouden vervoerders het disnut feitelijk het liefst 'vergroten': met een uiterst efficiënt vervoersysteem valt niet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

$$N_c = \arg\max_j \left(N_j - z_{ij} \right)$$ *VERGELIJKING 3.5*

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.

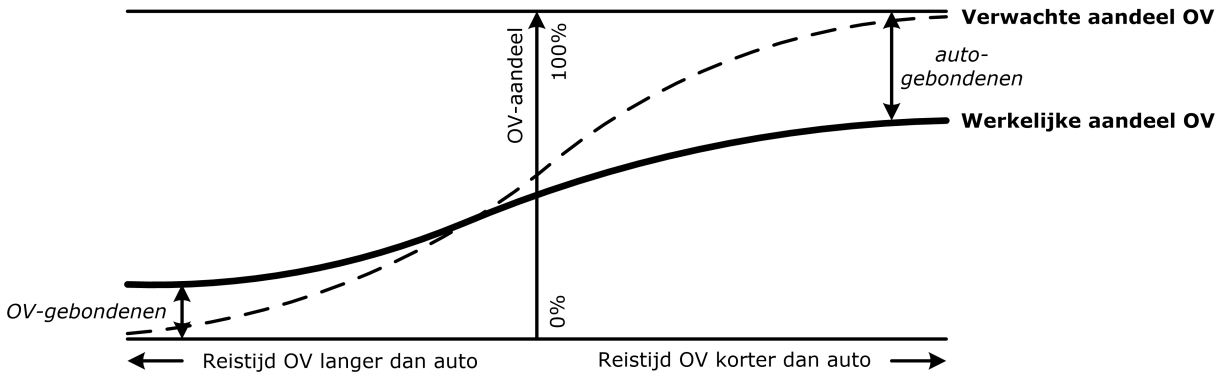
Stel dat iemand uit drie bestemmingen kan kiezen. Puur vanuit de activiteit gezien is alternatief 1 het meest aantrekkelijk. Als echter rekening wordt gehouden met het disnut van de verplaatsing, verandert het beeld. Volgens het principe van nutsmaximalisatie zou de reiziger voor alternatief 2 kiezen vanwege het hoogste netto nut en dus niet voor alternatief 1.



FIGUUR 3.10 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 3.11). Er is immers altijd een percentage dat het OV zal gebruiken en een percentage dat de auto zal gebruiken.



FIGUUR 3.11 OPENBAAR VERVOERAANDEEL ALS FUNCTIE VAN HET VERSCHIL IN REISTIJD TUSSEN AUTO EN OPENBAAR VERVOER

3.2.3 Het Logit-keuze model

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:

$$U_i = V_i + \varepsilon_i$$

VERGELIJKING 3.6

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:

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

VERGELIJKING 3.7

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

$$V_i = \sum_{k=1}^{m} \beta_k \cdot X_{ik}$$

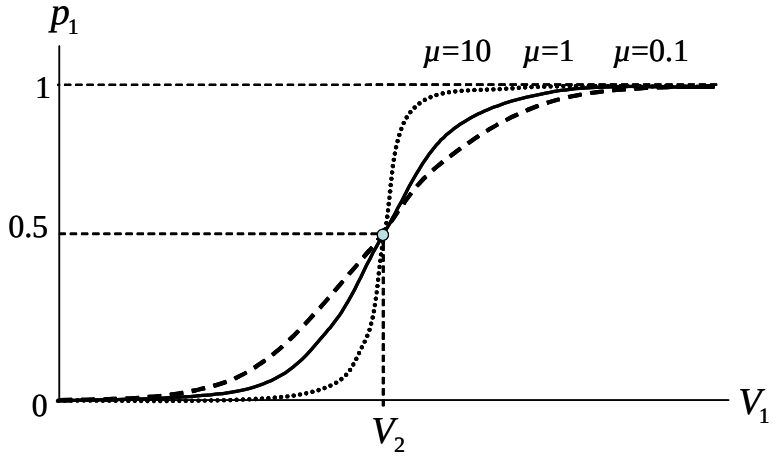
VERGELIJKING 3.8

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

$$p_i = \frac{\exp(\mu \cdot V_i)}{\sum_{j=1}^{n} \exp(\mu \cdot V_i)} = \frac{e^{\mu \cdot V_i}}{\sum_{j=1}^{n} e^{\mu \cdot V_i}}$$

VERGELIJKING 3.9

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 3.12).



FIGUUR 3.12 GEVOELIGHEID VAN KEUZEPROCESSEN DOOR VERSCHILLENDE WAARDEN VAN DE SCHAALPARAMETER

Een schalingsparameter is in principe dimensieloos, 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 of 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 ook 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 zijn. Dit is toe te schrijven aan het feit dat het Logit-model alleen 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/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. Bij de laatste twee keuzen ligt immers het positieve deel, het nut van de activiteit op de bestemming, al vast. Tabel 3.14 geeft een aantal voorbeelden van keuzen en mogelijke nutsfuncties.

Soort keuze	**Voorbeeld nutsfunctie**
Routekeuze auto	$V_{auto} = - (T_{auto}*VoT + K_{auto})$
Routekeuze OV	$V_{ov} = - (2{,}2*T_{lopen\text{-}1} + 1{,}5*T_{wachten} + T_{rijden} + 13*N_{overstap} + 1{,}1*T_{lopen\text{-}2})$
Vervoerwijzekeuze	$V_{auto} = - (T_{auto}*VoT + K_{auto}) + Pref_{auto}$
Bestemmingskeuze	$V_{best} = + c*ARB_{best} - (T_{auto}*VoT + K_{auto})$

TABEL 3.14: VOORBEELDEN VAN NUTSFUNCTIES VOOR VERSCHILLENDE SOORTEN KEUZEN

De afkortingen in de tabel hebben de volgende betekenissen:
T = tijd,
K = kosten,
lopen-1 = lopen naar halte,
N = aantal overstappen,
lopen-2 =l open van halte,
Pref = preferentie,
C = parameter,
ARB = arbeidsplaatsen.

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.

Algoritme voor het Logit-model

1 Specificeer de alternatieven
2 Is er in de keuzesituatie sprake van nut: zet die met een + in de nutsfunctie (positief!)
3 Is er in de keuzesituatie sprake van disnut (negatief): zet die met een – in de nutsfunctie
4 Let bij preferenties goed op de logica: preferentie **voor** een vervoerwijze is **minder** disnut!
5 Bepaal de eenheid van de gegeven gevoeligheid
6 Breng de attributen onder een noemer (tijdwaardering!)
7 Bereken per alternatief de waarde van de nutsfunctie
8 Bereken de aandelen met de Logit-formule
9 Controleer of het meest aantrekkelijke alternatief ook het grootste aandeel krijgt (teken!)

3.3 Modellering van het verkeers- en vervoersysteem: het 4 fasenmodel

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 Ortúzar & Willumsen (2011).

3.3.1 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:

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

In deze context is een vervoer- en verkeersmodel meer dan alleen het softwarepakket waarmee een model kan worden gemaakt, zoals bijvoorbeeld Omnitrans, VISUM of Cube Voyager. Een vervoer- en verkeersmodel is ook meer dan het concept van het Nederlands Regionaal Model zoals dat door 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 verkeers-systeem (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 (zie bijvoorbeeld www.MATSim.org). In de praktijk is vaak een beschrijving van het keuzegedrag in het vervoer- en verkeerssysteem op geaggregeerder niveau 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.

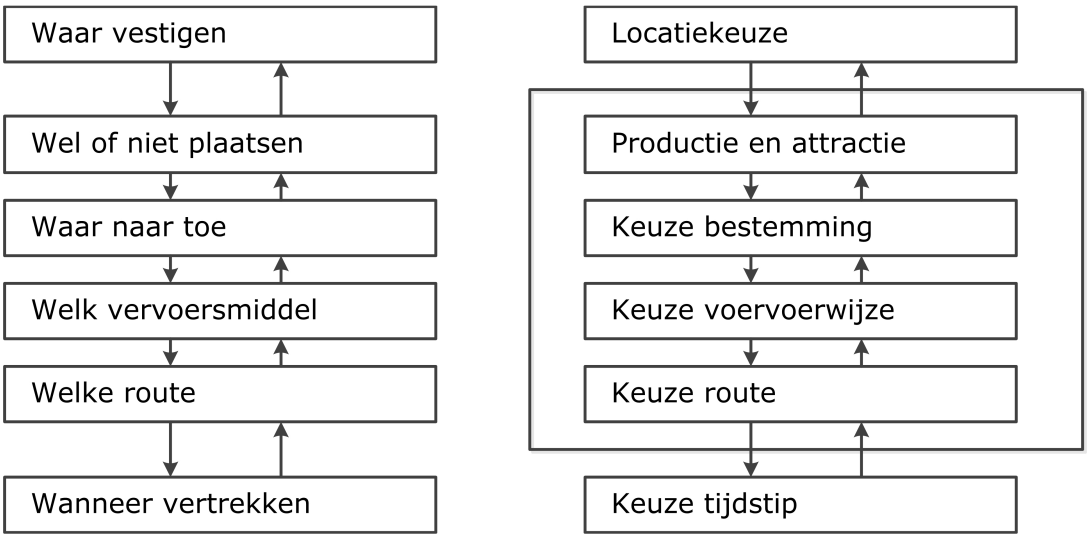
De modellering in een vervoer- en verkeersmodel

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 spitsperioden 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 per se 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 3.13 zijn de keuzeprocessen nog eens kort weergeven. De keuzemodellen die in een vervoer- en verkeersmodel worden beschreven zijn omkaderd.



FIGUUR 3.13: KEUZEPROCESSEN IN HET VERVOER- EN VERKEERSSYSTEEM

Het 4-fasenmodel bestaat dus uit 4 onderdelen:

1. Productie en attractie
2. Bestemmingskeuze of distributie
3. Vervoerwijzekeuze of modal split
4. Routekeuze of toedeling

3.3.2 Onderdelen van het vervoer- en verkeersmodel

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

Productie en attractiemodel

Het *productie en attractiemodel* berekent het aantal vertrekken en aankomsten per zone per motief per tijdsperiode (etmaal of spitsperiode) (Figuur 3.14). 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 3.14: 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. Productie en attractie-formules kunnen worden geschat op basis van OViN-gegevens. Een voorbeeld van productie- en attractieformules is weergegeven in Tabel 3.15.

Motief	Formule
Werk	*0,9*beroepsbevolking+0,9*arbeidsplaatsen*
Zakelijk	*0,5*arbeidsplaatsen*
Studie	*0,2*huishoudens+1,9*leerlingplaatsen*
Winkel	*1,0*huishoudens+15,6*arbeidsplaatsen detailhandel*
Overig	*3,5*huishoudens*
Totaal	***6,5*huishoudens+2,9*arbeidsplaatsen***

TABEL 3.15: VOORBEELD PRODUCTIE/ATTRACTIE-FORMULES VOOR AANTAL PERSONENVERPLAATSINGEN IN EEN ETMAAL (LEERLINGPLAATSEN STAAT VOOR HET AANTAL PLAATSEN VOOR LEERLINGEN OP ONDERWIJSINSTELLINGEN)

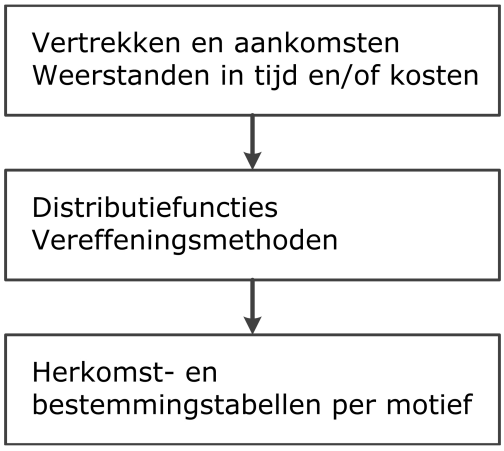
Voor de productie en attractie voor de auto bijvoorbeeld kunnen dergelijke formules worden aangevuld met de modal split per motief. Bij de bepaling van de aankomsten en vertrekken voor de spitsperioden gaat de asymmetrie een rol spelen. Voor een ochtendspitsmodel is het logisch dat vooral het aantal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

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.

Bestemmingskeuzemodel

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 3.15). 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.



FIGUUR 3.15: OVERZICHT VAN HET DISTRIBUTIEMODEL

De bekendste formule van het bestemmingskeuzemodel is het zwaartekrachtmodel. In formule:

$$P_{ij} = Q_i \cdot X_j \cdot F\left(z_{ij}\right)$$

$$\sum_{j=1}^{n} P_{ij} = V_i \qquad \textit{VERGELIJKING 3.10}$$

$$\sum_{i=1}^{n} P_{ij} = A_j$$

Met

P_{ij} = aantal verplaatsingen tussen i en j
Q_i = productiefactor voor zone i
X_j = attractiefactor voor zone j
F = distributiefunctie
z_{ij} = waarde voor de reisweerstand tussen i en j

De tweede en derde vergelijkingen in Vergelijking 3.10 zijn de randvoorwaarden van het zwaartekrachtmodel. Ze geven aan dat de som van alle verplaatsingen vanuit een zone gelijk moet 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 sprekend op het bekende zwaartekrachtmodel. Voor verkeerskundige doeleinden is het realistischer om in plaats van afstanden reistijden te nemen. De variabelen Q_i en X_j worden tijdens de berekening bepaald (zie algoritme beschrijving).

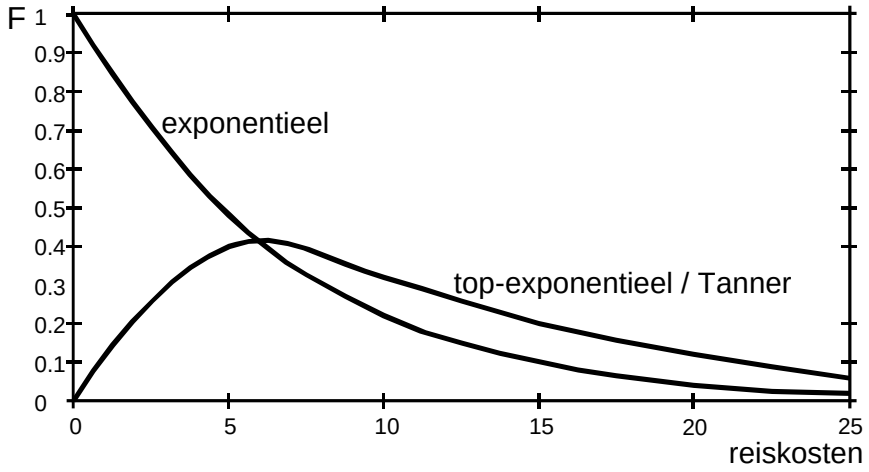
Het algemene principe is dat hoe meer moeite een verplaatsing kost, hoe kleiner de kans op verplaatsingen. Dit wordt beschreven met distributiefuncties (Figuur 3.16), meestal gespecificeerd per motief. Een veelgebruikte functie is bijvoorbeeld de exponentiële functie, die gebaseerd is op het logit-model. 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. 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. In een iteratief proces worden de in de eerder berekende vertrekken op basis van de distributiefunctie verdeeld over de bestemmingen, gevolgd door het verdelen van de berekende aankomsten over de herkomsten.

Algoritme voor zwaartekrachtmodel

1 Bepaal de weerstanden (afstanden of reistijden) z_{ij} tussen alle zones i en j en zet die in een matrix met cellen i,j
2 Verdeel de vertrekken over de zones en bereken het aantal aankomsten per zone
  2.1 Voor elke zone i
    2.1.1 Sommeer de waarden in de cellen i,j
    2.1.2 Bereken de waarde van Q_i als de berekende vertrekken V_i gedeeld door de hiervoor berekende som
    2.1.3 Vermenigvuldig de waarden in de cellen i,j met de factor Qi
  2.2 Voor elke zone j
    2.2.1 Sommeer de waarden in de cellen i,j
3 Verdeel de aankomsten over de zones en bereken het aantal vertrekken per zone
  3.1 Voor elke zone j
    3.1.1 Sommeer de waarden in de cellen i,j
    3.1.2 Bereken de waarde van X_j als de berekende aankomsten A_i gedeeld door de hiervoor berekende som
    3.1.3 Vermenigvuldig de waarden in de cellen i,j met de factor Xj
  3.2 Voor elke zone i
    3.2.1 Sommeer de waarden in de cellen i,j
4 De stappen 2 en 3 worden iteratief herhaald:
  4.1 In de eerste iteratie gebruik je de waarden van de distributiefunctie voor cel i,j
  4.2 In de vervolgstappen gebruik je steeds de laatst berekende waarden voor cel i,j
  4.3 Het iteratieproces stopt als de waarden Q_i en X_j nagenoeg gelijk zijn aan 1

Opmerking
Als je een matrixstructuur gebruikt met als rijen de zones i als kolommen de zones j dan verdeel je in stap 2.1. de vertrekken over de rijen en bepaal je in stap 2.2 de totalen per kolom. In stap 3.1 verdeel je de aankomsten in de dienstensector over de kolommen en in stap 3.2 bepaal je het totaal per rij.

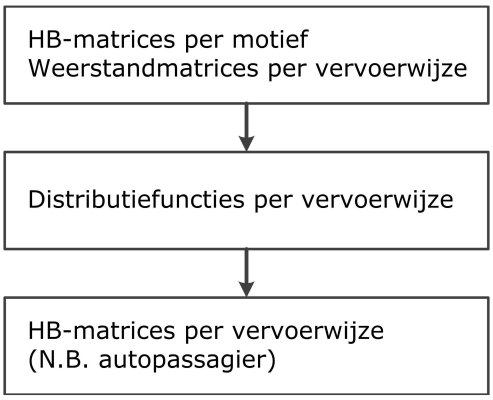
Merk op dat deze modelvorm en ook de berekening ervan een gelijkenis heeft met het Lowry-model. Belangrijke verschil is dat het Lowry-model één randvoorwaarde heeft, de arbeidsplaatsen, terwijl het zwaartekrachtmodel twee randvoorwaarden heeft (vertrekken en aankomsten). Tweede verschil is dat het Lowry-model alleen iets zegt over de herkomst-bestemmingsmatrix voor de avondspits voor het motief woon-werk, terwijl het zwaartekrachtmodel afhankelijk van de berekende vertrekken en aankomsten voor allerlei motieven en tijdsperioden kan worden gebruikt.



FIGUUR 3.16: VOORBEELD EXPONENTIËLE DISTRIBUTIEFUNCTIE EN ALTERNATIEVE VORM

Vervoerwijzekeuzemodel

De *vervoerwijzekeuze of modal split* beschrijft de verdeling over de vervoerwijzen (Figuur 3.17). 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.



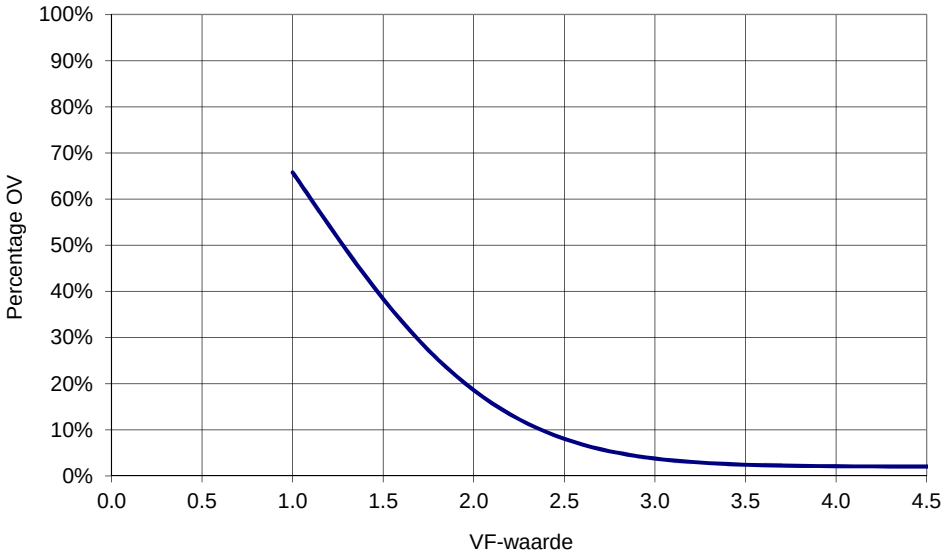
FIGUUR 3.17: OVERZICHT VAN HET MODAL SPLITMODEL

Een alternatief voor het logit-model is de VF-kromme (Figuur 3.18, 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 reistijd-verhouding 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.

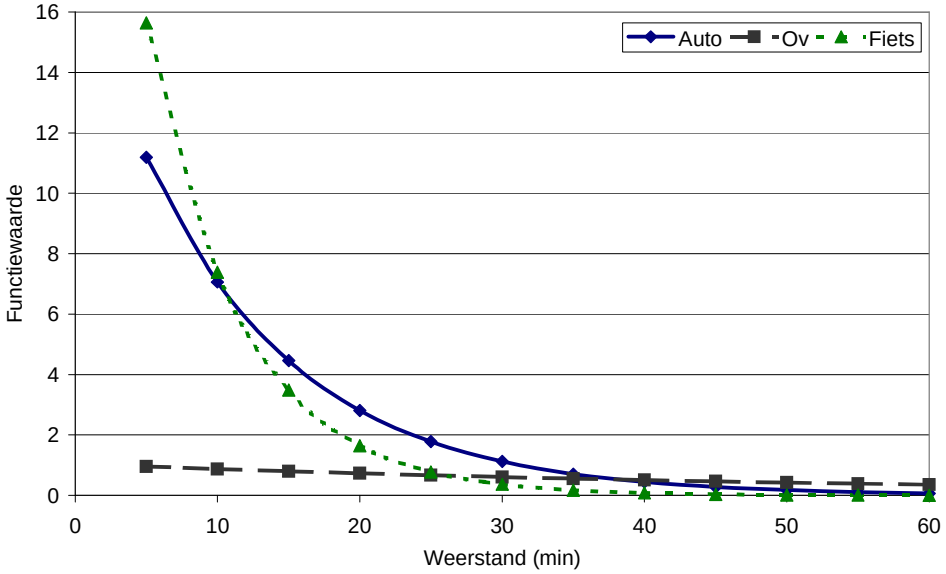
Een apart aandachtspunt is het onderscheid tussen personen en voertuigen. Als er bijvoorbeeld alleen gekeken is naar de vervoerwijzen auto, openbaar vervoer en langzaam verkeer, dan beschrijft de herkomst- en bestemmingsmatrix auto het relatiepatroon voor alle personen die met de auto gaan: bestuurder en passagier. Er is dan een aparte omrekenslag noodzakelijk om de herkomst- en bestemmingstabel voor auto's te bepalen, bijvoorbeeld met behulp van de gemiddelde autobezetting.

Gezien de grote overeenkomsten met het distributiemodel wordt de vervoerwijzekeuze in Nederland vaak simultaan met de bestemmingskeuze gemodelleerd. De vervoerkwaliteit 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 een eventueel onderscheid in motief ook onderscheid naar vervoerwijze wordt gemaakt. De distributiefuncties worden dan ook per vervoerwijze gedefinieerd (bijvoorbeeld zoals in Figuur 3.19).



FIGUUR 3.18: 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)



FIGUUR 3.19: VOORBEELD DISTRIBUTIEFUNCTIES OP BASIS VAN (GEWOGEN) REISTIJD (LET OP: VOOR EEN HERKOMST EN BESTEMMINGSRELATIE IS PER VERVOERWIJZE EEN ANDERE WEERSTANDSWAARDE!)

De formulering van het zwaartekrachtmodel verandert dan als volgt:

$$P_{ij} = Q_i \cdot X_j \cdot F_{ij}$$
$$F_{ij} = \sum_v Fv\left(z_{ijv}\right)$$
$$\sum_{j=1}^{n} P_{ij} = V_i$$
$$\sum_{i=1}^{n} P_{ij} = A_j$$

VERGELIJKING 3.11

Met:

P_{ij} = aantal verplaatsingen tussen i en j
Q_i = productiefactor voor zone i
X_j = attractiefactor voor zone j
F_v = distributiefunctie voor vervoerwijze v
z_{ijv} = waarde voor de reisweerstand tussen i en j voor vervoerwijze v

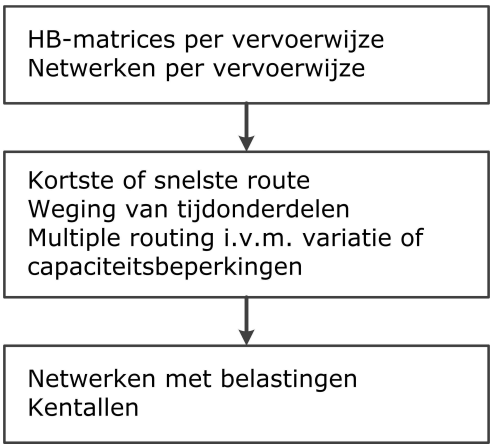
Het aantal verplaatsingen per vervoerwijze is dan eenvoudig te berekenen met:

$$P_{ijv} = \frac{F_v\left(z_{ijv}\right)}{F_{ij}} \cdot P_{ij} = Q_i \cdot X_j \cdot F_v\left(z_{ijv}\right)$$

VERGELIJKING 3.12

Routekeuzemodel

Het *routekeuzemodel* tenslotte berekent hoe de verplaatsingen het netwerk zullen belasten (Figuur 3.20). 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 3.20: OVERZICHT VAN HET ROUTEKEUZEMODEL

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

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

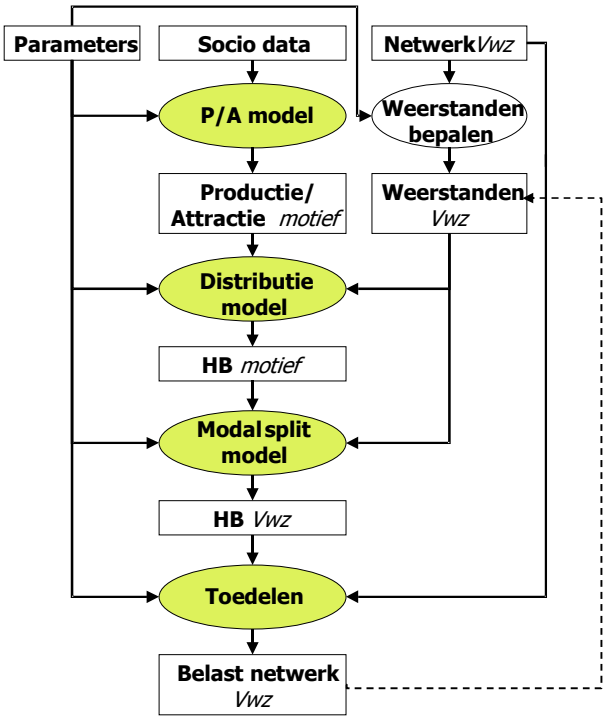
Bij openbaar vervoernetwerken gaat het vooral om deze attributen:
- Voor- en natransport lengte,
- Voor- en natransport snelheid,
- Route,
- Rittijden,
- Frequenties,
- Voertuigtype,
- Vervoerbedrijf.

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.

Overzicht 4-fasenmodel

Tot slot geeft Figuur 3.21 een overzicht van het 4-fasenmodel. Merk op dat in deze figuur een terugkoppeling is opgenomen van de toedeling naar de weerstanden. De reistijden die gebruikt worden om de bestemmingskeuze en de vervoerwijzekeuze te berekenen moeten immers consistent zijn met de reistijden die het gevolg zijn van de daarvan afgeleide verkeersstromen.



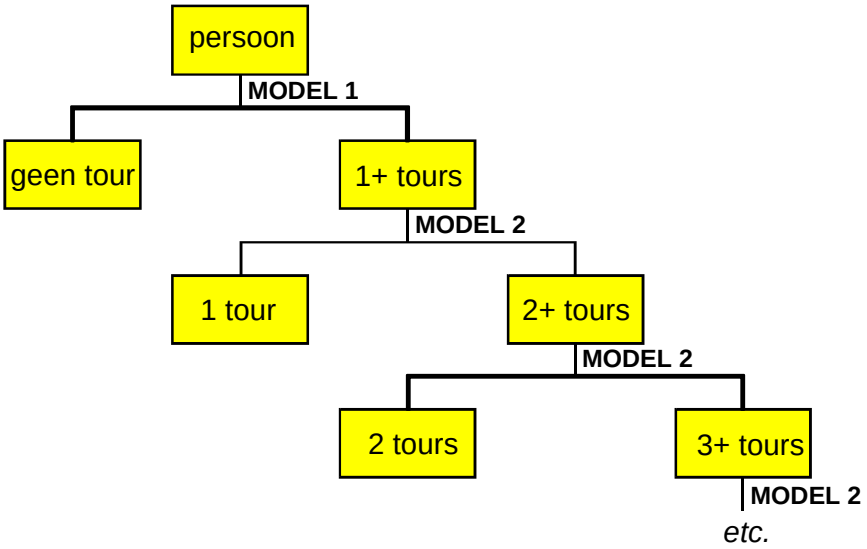
FIGUUR 3.21: OVERZICHT 4-FASEN MODEL (VWZ STAAT VOOR VERVOERWIJZE)

Landelijk Model Systeem (LMS) en Nederlands Regionaal Model (NRM)

Rijkswaterstaat gebruikt een modelsysteem dat deels afwijkt van het 4-fasenmodel zoals het hierboven is beschreven. Het LMS en de vier NRM's rekenen met tours ofwel verplaatsingsketens. Hierbij worden vooral 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. Tweede verschil is dat de analyse-eenheid niet de zone is, maar het individu en huishouden. Derde verschil is dat voor alle stappen om tot een herkomst- en bestemmingsmatrix te komen logit-modellen worden gebruikt. Vierde verschil is dat ook een vijfde fase wordt onderscheiden: de keuze voor de periode van de dag, met name de ochtendspits en de avondspits.

De berekening van het aantal tours of verplaatsingsketens is gebaseerd op huishoudgegevens. Hiervoor worden 3 keuzemodellen gebruikt: rijbewijsbezit, autobezit en reisfrequentie. Het aantal tours is dus de productie, de beide modellen kennen geen apart attractiemodel. De keuzen voor bestemming, vervoerwijze en tijdsperiode wordt in één keuzemodel berekend. Uit de hiermee berekende matrices is de attractie af te leiden.

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 3.22). Een soortgelijke aanpak geldt ook voor het aantal rijbewijzen en auto's per huishouden.



FIGUUR 3.22: STOP AND GO MODEL VOOR HET AANTAL TOURS OFWEL REIZEN PER PERSOON

In Tabel 3.16 is een aantal productiefactoren weergegeven zoals die in LMS en NRM's vaak worden gebruikt.

Productiefactoren voor rijbewijsbezit, autobezit en reisfrequentie
Geslacht Leeftijd Inkomen Opleidingen Huishoudsamenstelling Aantal werkenden Aantal kinderen Ligging in Randstad Grootte woongemeente

TABEL 3.16: INVOERVARIABELEN VOOR PRODUCTIEMODELLEN NRM EN LMS

Voor het keuzemodel voor bestemming, vervoerwijze en periode van de dag worden factoren gebruikt die aangeven hoe aantrekkelijk een gebied is voor een activiteit (het nut), factoren die de weerstand per vervoerwijze beschrijven (het disnut) plus factoren die gekoppeld zijn aan persoons- en huishoudkenmerken (een soort preferenties) (zie Tabel 3.17).

Attractiefactoren	Weerstandsfactoren
Arbeidsplaatsen Bevolkingsomvang Leerlingplaatsen Detailhandel Bevolkingsdichtheid Werkgelegenheidsdichtheid Centrumfunctie	Reistijd auto Reistijd in het OV Looptijd van en naar stations Wachttijd voor het OV Reiskosten (incl. tol en parkeren, c.q. tarief) Reisafstand Bevolkingsdichtheid Reisafstand langzaam verkeer Plus persoons-karakteristieken

TABEL 3.17: INVOERGEGEVENS VOOR DISTRIBUTIE/MODAL SPLIT, PERIODEKEUZE MODEL IN LMS EN NRM

3.3.3 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.

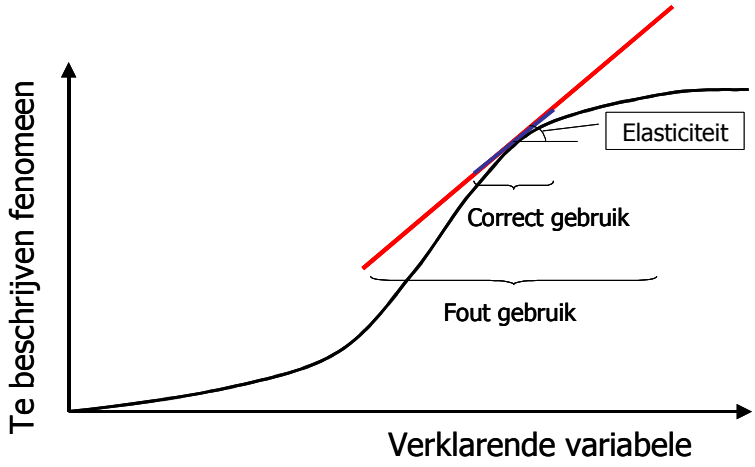
Om het effect van een specifieke maatregel te bepalen wordt een vergelijking gemaakt tussen de modelresultaten voor de situatie met en zonder de maatregel. Dit kan zowel voor de huidige situatie gebeuren als voor een toekomstige situatie. Het is afhankelijk van de vraagstelling of voor zo'n beoordeling 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 grootheid berekend als functie van een andere grootheid, bijvoorbeeld automobiliteit (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 3.23)!



FIGUUR 3.23: 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 vertrektijdstipkeuze een rol speelt. Dit kan zowel met modellen op geaggregeerd niveau waarbij rekening wordt gehouden dat file wegvakken en kruispunten bovenstrooms kan blokkeren, maar ook met simulatiemodellen. Bij een simulatiemodel wordt het verkeersgedrag op bestuurder-voertuig niveau beschreven. Wel zijn simulatiemodellen stochastisch, zodat in principe 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 (denk bijvoorbeeld aan opslag in pakhuizen en distributiecentra);
- Optimalisatiemodellen, waarin gezocht wordt naar optimale netwerken voor auto of openbaar vervoer;
- Mobiliteitsmodellen, modellen bedoeld voor vervoer- en verkeersbeleid, waarin, vaak op geaggregeerd niveau, mobiliteitskengetallen worden berekend rekening houdend met beleidsopties.

3.3.4 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 meerijdend 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;
- OViN, 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 OViN, MON en OVG, heeft op gedetailleerd niveau grote marges.

Elk van deze onderzoekstechnieken speelt bij modelbouw een eigen rol (zie ook Tabel 3.18). Voor het *productie- en attractiemodel* zijn sociaal economische gegevens noodzakelijk. Deze kunnen vaak met behulp van inventarisatie worden verkregen. Huishoudenquêtes, en met name het OViN, 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 OViN, 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 OViN zijn vaak al gebruikt bij de schatting van de afzonderlijke modellen.

	Productie	**Distributie**	**Modal split**	**Routekeuze**
Inventarisatie van gegevens	Sociaal-economische gegevens			Netwerkgegevens
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 3.18: OVERZICHT GEBRUIKSMOGELIJKHEDEN ONDERZOEKSTECHNIEKEN BIJ MODELBOUW (MET KANTTEKENINGEN)