

# **KOPPELING VAN TRANSPORTMODELLEN**

**F.W.C.J. van de Vooren\***

\* verbonden aan het Nederlandse Ministerie van Verkeer en Waterstaat (Rijkswaterstaat directie Limburg) en de Universiteit Antwerpen (UFSIA-RUCA, vakgroep Transport en Ruimtelijke Economie)

e-mail: [f.w.c.j.vdvooren@dlb.rws.minvenw.nl](mailto:f.w.c.j.vdvooren@dlb.rws.minvenw.nl)

tel.: +31 43 329 42 49

fax: +31 43 321 23 75

De auteur dankt Prof. Dr. E. Van de Voorde (Universiteit Antwerpen) en Ir. H. Heikoop (Rijkswaterstaat directie Limburg) voor hun opmerkingen.

<b>Inhoud</b>	<b>blz.</b>
1 Inleiding	3
2 Methodologische beschouwing	4
3 Koppeling van twee modellen met betrekking tot verschillende onderwerpen maar dezelfde ruimten	5
3.1 Een regionaal vervoersmodel	5
3.2 Een model voor regionale economische groei	8
3.3 Monocausale koppeling van het vervoersmodel en het economische groeimodel	9
3.4 Bicausale koppeling van het vervoersmodel en het economische groeimodel	9
4 Koppeling van twee modellen met betrekking tot verwante onderwerpen en verwante ruimten: NRM en MOBILEC	12
4.1 Het Nieuw Regionaal Model	12
4.2 Verschillen tussen NRM en MOBILEC	13
4.3 Monocausale koppeling van NRM en MOBILEC	14
4.3.1 Koppeling via het groeisysteem van NRM	14
4.3.2 Koppeling via het groeisysteem van MOBILEC	14
4.3.3 Koppeling via de reistijd	15
4.4 Bicausale koppeling van NRM en MOBILEC	17
4.4.1 Koppeling via het groeisysteem van NRM en reistijd	17
4.4.2 Koppeling via het groeisysteem van MOBILEC en reistijd	18
5 Koppeling van twee modellen met betrekking tot verwante onderwerpen en verwante ruimten: TIGRIS en MOBILEC	18
5.1 Het model TIGRIS	19
5.2 Verschillen tussen TIGRIS en MOBILEC	20
5.3 Monocausale koppeling van TIGRIS en MOBILEC	20
5.3.1 Koppeling via de werkgelegenheid	20
5.3.2 Koppeling via de mobiliteit en de werkgelegenheid	20
5.4 Bicausale koppeling van TIGRIS en MOBILEC	21
6 Koppeling van twee modellen met betrekking tot dezelfde onderwerpen maar verschillende ruimten	21
6.1 MOBILEC-Nederland	22
6.2 MOBILEC-België	22
6.3 Monocausale koppeling van MOBILEC-Nederland en MOBILEC-België	23
6.4 Bicausale koppeling van MOBILEC-Nederland en MOBILEC-België	23
7 Samenvattende conclusies	25
Noten	27
Referenties	28

## 1 Inleiding

Wie een beleidsgericht model wil construeren, zal eerst vaststellen, aan welke beleidsdoelen het model een bijdrage zal moeten leveren. Dat zal immers bepalen, in welke mate het model de verscheidene aspecten van de werkelijkheid zal stileren. Is het doel van het te construeren model bijvoorbeeld gericht op de berekening van effecten van het transportbeleid, dan zal de werkelijkheid met betrekking tot het transport gedetailleerd en dus in geringe mate worden gestileerd en de werkelijkheid met betrekking tot andere, minder relevante aspecten daarentegen in hoge mate worden gestileerd. De stilering kan zo ver gaan, dat van een verklaring van sommige variabelen van het model wordt afgezien en met *exogene* variabelen wordt volstaan. Zo bevat bijvoorbeeld het Nieuw Regionaal Model (NRM) van het Nederlandse Ministerie van Verkeer en Waterstaat vele herkomst-bestemmingsmatrices van een aantal verkeerscategorieën op een uitgebreid infrastructuurnetwerk, terwijl zaken als bevolking, inkomen en werkgelegenheid als exogene variabelen zijn opgenomen.

Is het op bepaalde beleidsdoelen gerichte model eenmaal geconstrueerd, dan kan het als hulpmiddel worden ingezet om het geëigende beleid te formuleren. Nu is het zeer wel denkbaar, dat de beleidsvoerders ook beleidsvragen gaan stellen, die buiten het bereik van het model liggen. Zo kan bijvoorbeeld een prognose van de verkeersintensiteiten in 2020 met behulp van NRM tot de conclusie leiden, dat de capaciteit van de infrastructuur in 2020 niet toereikend zal zijn. De vraag, welke effecten een capaciteitsverruiming heeft op de verkeersomvang, kan worden gevolgd door de vraag, welke effecten een capaciteitsverruiming heeft op het inkomen en de werkgelegenheid. De eerste vraag laat zich met NRM beantwoorden, maar de laatste vraag niet, omdat het inkomen en de werkgelegenheid in dit model exogene variabelen zijn. Overigens laat zich de eerste vraag met NRM enkel conditioneel beantwoorden, namelijk onder de veronderstelling dat het inkomen en de werkgelegenheid niet veranderen onder invloed van de capaciteitsverruiming.

Om vragen op nieuwe beleidsterreinen te kunnen beantwoorden, zal het model moeten worden uitgebreid. Het betekent, dat de stilering van bepaalde aspecten van de werkelijkheid in het model verminderd zal moeten worden. In het voorbeeld van NRM zal een transformatie van het inkomen en de werkgelegenheid in *endogene* variabelen nodig zijn, waarvoor nieuwe vergelijkingen zullen moeten worden geformuleerd.

Een dergelijke modeluitbreiding vergt geld en arbeid. Er is echter ook een andere weg om te bereiken, dat een model aan meer beleidsdoelen kan bijdragen dan aanvankelijk was voorzien. Men kan het geconstrueerde model aan een ander bestaand model koppelen, teneinde meer beleidsdoelen af te dekken. Deze weg kan sneller en goedkoper zijn, maar kan ook nadelen hebben. Er zijn ook koppelingen zonder nadelen. Deze kunnen zelfs zo ver gaan, dat van een volledige *integratie* van de modellen sprake is. Het resultaat wijkt dan niet af van een uitbreiding van het geconstrueerde model.

De vraag stelt zich, op welke wijzen een koppeling van bestaande modellen tot stand kan komen. Om deze vraag te kunnen beantwoorden, begint de onderhavige paper met een methodologische beschouwing, die de basis vormt voor de te behandelen voorbeelden van koppeling. Modellen kunnen op verschillende wijzen aan elkaar gekoppeld worden. De eigenschappen van de koppelingen kunnen naar type worden onderscheiden. Vervolgens worden deze onderwerpen aan de hand van een aantal beleidsrelevante voorbeelden op het terrein van transportmodellen uiteengezet. Tenslotte volgen samenvattende conclusies.

## 2 Methodologische beschouwing

Modellen kunnen in principe op drie wijzen aan elkaar worden gekoppeld.

(1) De koppeling van modellen kan *via hun exogene variabelen* verlopen. Dat houdt bijvoorbeeld in, dat een exogene variabele in model A door model B wordt berekend. In dit geval is er sprake van een koppeling, die in één causale richting verloopt, namelijk van model B naar model A. Wij noemen dit een *monocausale* koppeling van de modellen A en B. Het is denkbaar, dat model A een tweede exogene variabele bevat, die ook door model B berekend wordt. Ook dan is er van een monocausale koppeling van de modellen A en B sprake, die in dit geval uit twee relaties bestaat. Wij spreken van een *bicausale* koppeling, indien een exogene variabele van model A door model B wordt berekend en een exogene variabele van model B door model A wordt berekend. Een bicausale koppeling bestaat uit tenminste twee relaties.

(2) De koppeling van modellen kan *via hun endogene variabelen* verlopen. Model A kan bijvoorbeeld een endogene variabele bevatten, waarvan de verklarende vergelijking een zeer hoge mate van stilering van de werkelijkheid is. Door deze endogene variabele van zijn verklarende vergelijking te ontdoen en ze exogeen te maken om ze vervolgens door model B te laten berekenen, worden de modellen A en B monocausaal gekoppeld. Deze koppeling is vanzelfsprekend slechts zinvol, indien model B een uitgebreidere verklaring van de desbetreffende variabele geeft dan model A. De koppeling van modellen via hun endogene variabelen kan ook bicausaal worden uitgevoerd.

(3) De koppeling van modellen kan *via nieuwe vergelijkingen* verlopen. Een koppeling van de modellen A en B kan gewenst worden geacht, maar in bijvoorbeeld model A bevindt zich geen exogene of endogene variabele als geschikt aangrijpingspunt. Dat kan de hoge mate van stilering van de werkelijkheid op dit punt in model A als oorzaak hebben. Teneinde een koppeling tot stand te brengen, dient model A eerst met een vergelijking te worden uitgebreid, die een exogene variabele bevat, welke door model B kan worden berekend. Ook nu kunnen monocausale en bicausale koppelingen worden onderscheiden.

Een koppeling van modellen kan uit meer dan één relatie bestaan. Het is denkbaar, dat twee of drie van de boven beschreven koppelingstypen binnen de gekoppelde modellen tegelijkertijd voorkomen.

Een bicausale koppeling kan zinvolle relaties aan een monocausale koppeling toevoegen. Een bicausale koppeling kan echter problemen geven, wanneer de koppeling *simultaan* plaatsvindt. Indien bijvoorbeeld de koppeling gestalte krijgt door een relatie van een variabele  $x$  in model A naar een variabele  $y$  in model B aan te brengen en door tegelijkertijd een relatie van de variabele  $y$  in model B naar de variabele  $x$  in model A te leggen, ontstaat een cirkelredenering. Aan deze cirkelredenering kan men op drie manieren trachten te ontsnappen:

- (1) De simultaneïteit kan worden verbroken door bijvoorbeeld de variabele  $x$  op tijdstip  $t$  in model A te relateren aan de variabele  $y$  op tijdstip  $t$  in model B en de variabele  $y$  op tijdstip  $t$  in model B te relateren aan de variabele  $x$  op tijdstip  $t-1$  in model A. Soms is een dergelijke vertraging niet realistisch.

- (2) In dat geval kan men trachten uit het stelsel simultane vergelijkingen, dat de modellen A en B tezamen vormen, de herleide-vormvergelijkingen af te leiden. Soms is dat wiskundig niet mogelijk.
- (3) Tenslotte kan men trachten een relatie te herformuleren, bijvoorbeeld door de variabele  $y$  op tijdstip  $t$  in model B te relateren aan een variabele  $z$  in model A, die onafhankelijk is van de variabele  $x$  op tijdstip  $t$ .

Een ander probleem, dat zich bij een koppeling kan voordoen, is het voorkomen van eenzelfde variabele in de afzonderlijke modellen, die hiervoor verschillende waarden genereren. Indien bijvoorbeeld zowel model A als model B een variabele  $x$  bevatten en de modellen via andere variabelen gekoppeld zijn, dan kan model A voor de variabele  $x$  andere waarden genereren dan model B. Wij spreken in dat geval van een *imperfecte* koppeling. Een imperfecte koppeling is weliswaar theoretisch verwerpelijk, maar kan praktisch zinvol zijn, indien een onderscheid kan worden gemaakt tussen een *hoofdmodel* en een *hulpmodel*. Het hulpmodel dient een variabele van het hoofdmodel van waarden te voorzien, opdat het hoofdmodel de beleidsmatig relevante variabelen kan genereren. De resultaten van het hoofdmodel worden vervolgens gebruikt en die van het hulpmodel genegeerd.

Een koppeling is *perfect*, indien de afzonderlijke modellen voor geen enkele variabele verschillende waarden genereren. Worden voor een perfecte koppeling nieuwe vergelijkingen geformuleerd, dan is er sprake van een volledige *integratie* van de afzonderlijke modellen.

Wij zullen de verschillende wijzen van koppeling aan de hand van praktische situaties en bekende modellen illustreren. Daarbij zullen wij het volgende onderscheid maken:

- (1) koppeling van twee modellen, die op verschillende onderwerpen maar op dezelfde ruimten betrekking hebben;
- (2) koppeling van twee modellen, die op verwante onderwerpen en verwante ruimten betrekking hebben;
- (3) koppeling van twee modellen, die op dezelfde onderwerpen maar verschillende ruimten betrekking hebben.

Wij zullen in deze voorbeelden monocausale, bicausale, perfecte en imperfecte koppelingen tegenkomen en met het probleem der simultaneïteit worden geconfronteerd. Wij zullen vaststellen, dat soms zowel monocausale als bicausale koppelingen tussen twee modellen mogelijk zijn, soms enkel monocausale en soms enkel bicausale koppelingen.

### **3 Koppeling van twee modellen met betrekking tot verschillende onderwerpen maar dezelfde ruimten**

Er komen twee modellen aan de orde: een regionaal vervoersmodel en een model voor regionale economische groei. Nadat deze modellen afzonderlijk beschreven, worden zij op twee wijzen gekoppeld.

#### **3.1 Een regionaal vervoersmodel**

Wij beginnen met een eenvoudig regionaal vervoersmodel, dat zowel personenvervoer als goederenvervoer per vervoerswijze binnen en tussen de regio's omvat. Het gaat om het personenvervoer per auto, trein en bus/tram/metro, waarbij een onderscheid wordt gemaakt

naar reismotief: zakelijk verkeer, woon-werkverkeer en overig verkeer. Het goederenvervoer betreft het vervoer per vrachtauto, trein en schip.

De omvang van het *zakelijk personenverkeer* per vervoerswijze van regio  $r$  naar regio  $s$  en terug naar de regio van oorsprong  $r$  is afhankelijk van:

- het regionale product van regio  $r$ ;
- de transportkosten, bestaande uit reisafstandskosten en reistijdskosten, van regio  $r$  naar regio  $s$  en terug naar de regio van oorsprong  $r$ ;
- de transportkosten van alternatieve vervoerswijzen.

De regio's  $r$  en  $s$  kunnen een en dezelfde regio zijn ( $r=s$ ); er is dan sprake van *intraregionaal* verkeer. Zijn de regio's  $r$  en  $s$  verschillend ( $r \neq s$ ), dan is er sprake van *interregionaal* verkeer.

De omvang van het *woon-werkverkeer* per vervoerswijze van regio  $r$  naar regio  $s$  en terug naar de regio van oorsprong  $r$  is afhankelijk van:

- het regionale inkomen van regio  $r$ ;
- de reisafstandskosten en de reistijd van regio  $r$  naar regio  $s$  en terug naar de regio van oorsprong  $r$ ;
- de reisafstandskosten en de reistijd van alternatieve vervoerswijzen;
- de werkgelegenheid per hoofd der bevolking in regio  $s$  ten opzichte van regio  $r$ .

De omvang van het *overig personenverkeer* per vervoerswijze van regio  $r$  naar regio  $s$  en terug naar de regio van oorsprong  $r$  is afhankelijk van:

- het regionale inkomen in regio  $r$ ;
- de reisafstandskosten en de reistijd van regio  $r$  naar regio  $s$  en terug naar de regio van oorsprong  $r$ ;
- de reisafstandskosten en de reistijd van alternatieve vervoerswijzen;
- het grootstedelijk karakter en de omvang van de recreatiegebieden van regio  $s$  ten opzichte van regio  $r$ .

De omvang van het *goederenvervoer* per vervoerswijze van regio  $s$  naar regio  $r$  is afhankelijk van:

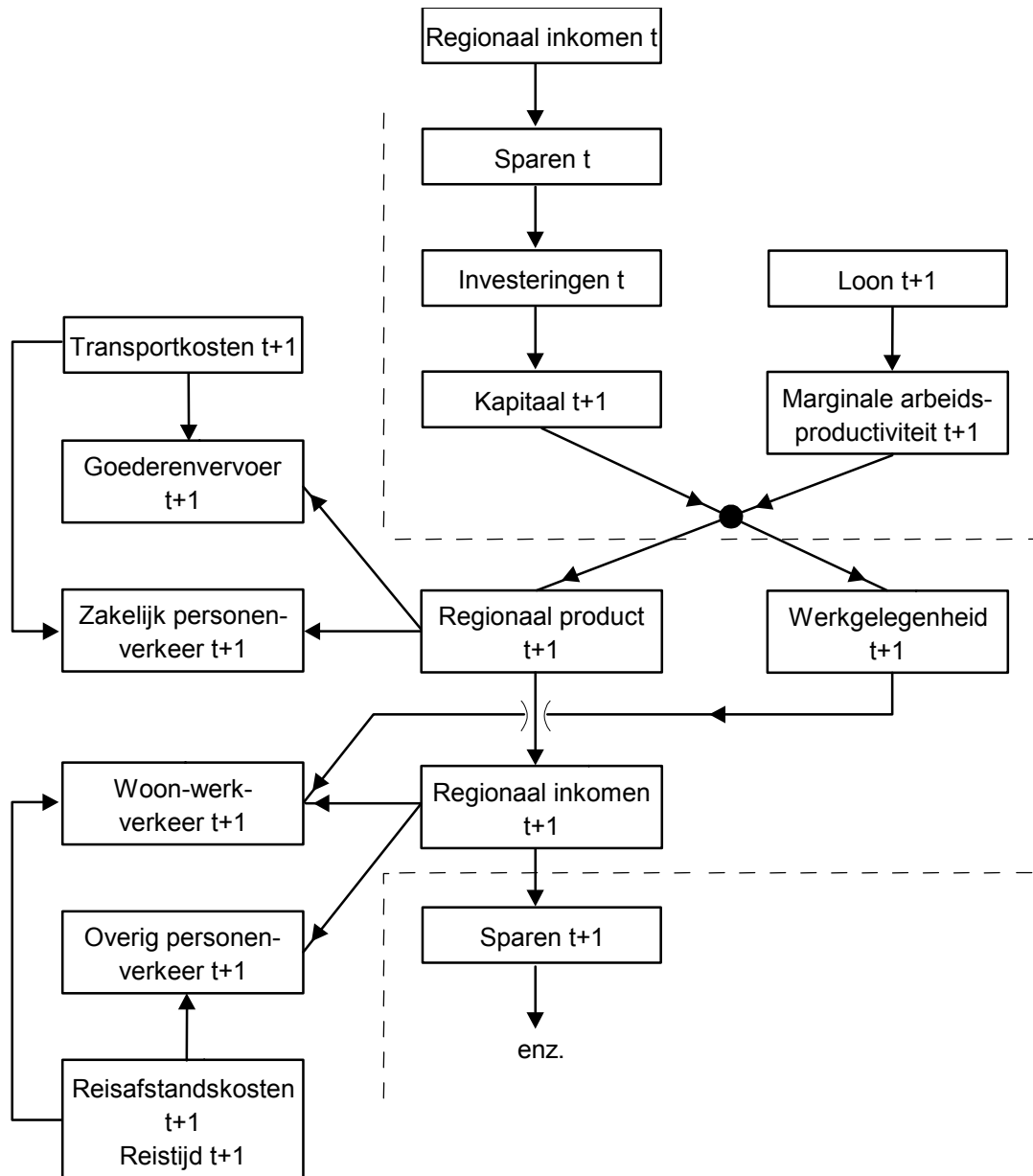
- het regionale product van regio  $r$ ;
- de transportkosten, bestaande uit reisafstandskosten en reistijdskosten, van regio  $s$  naar regio  $r$ ;
- de transportkosten van alternatieve vervoerswijzen.

Dit eenvoudige vervoersmodel is in figuur 1 in beeld gebracht. Deze figuur bestaat uit drie kolommen van blokken, die de variabelen weergeven. De variabelen zijn van de symbolen  $t$  en  $t+1$  voorzien ter aanduiding van de periode, waarop de variabelen betrekking hebben. De causale relaties worden met pijlen aangeduid. De blokken links van de gebroken lijn representeren het regionale groeimodel. De blokken rechts van de gebroken lijn en de daarvandaan komende pijlen dienen vooralsnog genegeerd te worden. Ook de pijl van het regionale product naar het regionale inkomen blijft hier buiten beschouwing.

Eenvoudigheidshalve is in het lijnendiagram weggelaten, dat de reistijd van het wegverkeer een endogene variabele en een element van de transportkosten is. De reistijd van het wegverkeer wordt door de verhouding tussen de benutting van weginfrastructuur en de maximale capaciteit van de weginfrastructuur beïnvloed. De beslissingen van de economische subjecten zijn echter niet van de *werkelijke* maar van de *verwachte* reistijd afhankelijk. De

verwachte reistijd in periode  $t$  wordt daarom in het model op basis van de verhouding tussen de verwachte benutting van de weginfrastructuur in periode  $t$  en de maximale capaciteit van de weginfrastructuur in periode  $t$  berekend. De verwachte benutting in periode  $t$  wordt gelijk gesteld aan de *feitelijke* benutting in periode  $t-1$ .

Figuur 1 Een regionaal vervoersmodel (links van de stippellijn), een model voor regionale economische groei (midden- en rechterkolom) en een monocausale koppeling



De benutting van de spoorweginfrastructuur bepaalt niet direct de reistijd per trein vanwege het bloksysteem. De waterweginfrastructuur kent, in het algemeen gesproken, een overcapaciteit voor het vervoer per schip; in dat verband wordt verondersteld, dat de wachttijden bij de sluisen niet oplopen bij toenemende scheepvaart. Daarom worden de reistijden per trein en per schip als exogene variabelen beschouwd.

Het regionale product, het regionale inkomen, de reisafstandskosten, de reistijdskosten per tijdseenheid en de reistijden per trein en schip alsmede de werkgelegenheid per hoofd der bevolking, het grootstedelijk karakter en de omvang van de recreatiegebieden in de afzonderlijke regio's zijn exogene variabelen.<sup>1</sup> Gegeven de waarden van deze exogene variabelen in de relevant geachte perioden, kunnen de omvang van het personenvervoer per vervoerswijze en per vervoersmotief en de omvang van het goederenvervoer per vervoerswijze binnen en tussen de regio's worden berekend.

Een capaciteitsverruiming van de infrastructuur leidt tot een kortere reistijd en daarmee tot lagere transportkosten. Een nieuwe verbinding kan bovendien tot lagere reisafstandskosten en ook uit dien hoofde tot lagere transportkosten leiden. Dit verhoogt volgens het model de omvang van het vervoer. Deze groei van het wegverkeer wordt door een stijgende reistijd afgeremd, doordat de verhouding tussen de benutting van de verbeterde weginfrastructuur en de maximale capaciteit van de verbeterde weginfrastructuur in de loop van de tijd oploopt.

### 3.2 Een model voor regionale economische groei

Voor prognoses van de economische groei per regio hanteren wij een neoklassiek model, dat in de midden- en rechterkolom van figuur 1 (sectie 3.1) in beeld is gebracht. De linkerkolom van deze figuur en de naar de linkerkolom leidende pijlen dienen vooralsnog genegeerd te worden. Het economische groeimodel werkt als volgt.

Het *regionale inkomen* in periode  $t$  bepaalt de (*private*) *besparingen* in periode  $t$ , die – afhankelijk van het saldo van de overheidsbestedingen in de regio en de in de regio geheven belastingen en het saldo op de betalingsbalans van de regio – als (*private*) *investeringen* worden aangewend. In welke mate de besparingen in de eigen regio of elders als investeringen worden aangewend, wordt beïnvloed door het te behalen kapitaalrendement ten opzichte van wat elders behaald kan worden. Regionale (*private*) investeringen zijn niets anders dan een uitbreiding van de regionale (*private*) *kapitaalgoederenvoorraad*; aan het begin van de volgende periode  $t+1$  staat de regio dus een grotere kapitaalgoederenvoorraad ter beschikking dan aan het begin van periode  $t$ .

Werkgevers en werknemers komen een *loonsom per werknemer* overeen, die in het model exogeen wordt opgevat. De loonsom per werknemer (inclusief de sociale lasten) in periode  $t+1$  bepaalt de *marginale arbeidsproductiviteit* in periode  $t+1$ .

Het model bevat een *productiefunctie*, die het verband beschrijft tussen de aangewende hoeveelheden productiefactoren arbeid en kapitaal enerzijds en de hoeveelheid eindproduct anderzijds. Daarbij wordt uitgegaan van een gegeven stand van de technologie, een gegeven regionale productiestructuur en een gegeven mate van verstedelijking. Uit deze productiefunctie kunnen vergelijkingen worden afgeleid, waarmee op basis van de vergrote kapitaalgoederenvoorraad en de marginale arbeidsproductiviteit in periode  $t+1$  het *regionale product* en de *werkgelegenheid* in periode  $t+1$  kunnen worden berekend.

Het regionale product valt de bevolking toe als *regionaal inkomen*, dat vervolgens in periode  $t+1$  de (*private*) *besparingen* bepaalt, enzovoorts. Het beschreven proces begint dan opnieuw. Aldus genereert het model een continu proces van economische groei.



### 3.3 Monocausale koppeling van het vervoersmodel en het economische groeimodel

Prognoses van het vervoer met behulp van het beschreven vervoersmodel vereisen toekomstige waarden voor de exogene variabelen regionaal product, regionaal inkomen, werkgelegenheid en bevolking van elke regio. De toekomstige waarden van de eerste drie variabelen kunnen met behulp van het economische groeimodel worden geprognosticeerd, waarbij eenzelfde regionale indeling van de twee te koppelen modellen is verondersteld. Daartoe worden het vervoersmodel via zijn exogene grootheden aan het economische groeimodel gekoppeld. Dit is in figuur 1 (sectie 3.1) in beeld gebracht door de pijlen, die lopen:

- vanuit het regionale product naar het goederenvervoer en het zakelijk personenverkeer;
- vanuit het regionale inkomen naar het woon-werkverkeer en het overige personenverkeer;
- vanuit de werkgelegenheid naar het woon-werkverkeer.

Aangezien de koppeling uitsluitend van het economische groeimodel naar het vervoersmodel verloopt, is van een monocausale koppeling sprake. Ze bestaat uit vijf relaties. De koppeling is perfect, omdat de afzonderlijke modellen voor geen enkele variabele verschillende waarden genereren. Het resultaat van de koppeling is een model, dat een continu ontwikkelingsproces van economie en vervoer beschrijft.

### 3.4 Bicausale koppeling van het vervoersmodel en het economische groeimodel

De monocausale koppeling van het vervoersmodel en het economische groeimodel is in het voorgaande als perfect gekwalificeerd. Daaruit vloeit geenszins voort, dat het gekoppelde resultaat inhoudelijk niet verbeterd kan worden. Het gekoppelde resultaat is namelijk niet in staat het effect te berekenen van het transportbeleid (inclusief infrastructuurprojecten) op de economie en de werkgelegenheid. Daarvoor is een relatie nodig vanuit het vervoersmodel naar het economische groeimodel. Dat impliceert een bicausale koppeling, die echter op de moeilijkheid stuit, dat het transport in het economische groeimodel ontbreekt en derhalve een aangrijpingspunt in dit model voor een koppeling niet beschikbaar is. Dit probleem wordt opgelost door nieuwe vergelijkingen te formuleren.

Het transport kan als volgt in het economische groeimodel worden ingebracht. In de productiefunctie kan naast de gebruikelijke productiefactoren arbeid en kapitaal de productiefactor *verkeersinfrastructuur* worden opgenomen. Het gaat daarbij echter niet om de totale omvang van de infrastructuur maar het voor de productie benutte deel ervan. De benutte infrastructuur in de productiefunctie kan men identificeren met de mobiliteit voor productieve doeleinden, en wel in termen van het aantal reizigers en het aantal tonnen goederen dat via deze infrastructuur wordt verplaatst.

Goederenvervoer en zakelijk personenverkeer betreffen *productieve mobiliteit*. Indien het verplaatsingsmotief betrekking heeft op winkelen, het volgen van onderwijs, visites afleggen, sportbeoefening, toeren en wandelen, is er sprake van *consumptieve mobiliteit*. De aard van de mobiliteit van het woon-werkverkeer is minder eenduidig vast te stellen. Het woon-werkverkeer ontstaat, doordat men buiten de woonplaats een productieve prestatie levert; uit dien hoofde is er van productieve mobiliteit sprake. Daarentegen kan worden gesteld, dat het woon-werkverkeer het gevolg is van de consumptieve wens om in een aantrekkelijker

woonomgeving te wonen dan waar men werkt; vanuit dit gezichtspunt is het woon-werkverkeer als consumptieve mobiliteit te karakteriseren. Vanwege deze moeilijkheid zijn in het kader van de bicausale koppeling aparte vergelijkingen voor het woon-werkverkeer voorzien.

In de productiefunctie gaat het om de productieve mobiliteit. De richting van het causale verband loopt overeenkomstig de productiefunctie van mobiliteit naar economie. Bij de consumptieve mobiliteit speelt de consumptiefunctie een rol, die het verband weergeeft tussen inkomen en consumptie. De richting van het causale verband tussen economie en mobiliteit verloopt overeenkomstig de consumptiefunctie van economie naar mobiliteit, zoals dat ook het geval is met de vergelijkingen in het vervoersmodel. Door met beide causale verbanden in de bicausale koppeling rekening te houden, laat het gekoppelde resultaat een *wisselwerking* tussen economie en mobiliteit toe.

Wij voegen dus de productieve mobiliteit (goederenvervoer en zakelijk personenverkeer) in de productiefunctie van het economische groeimodel toe. Zoals in het economische groeimodel de loonsom per werknemer de marginale arbeidsproductiviteit bepaalt, zo bepalen de transportkosten per verplaatsing met betrekking tot de productieve mobiliteit de marginale mobiliteitsproductiviteit. Deze toevoegingen in het economische groeimodel brengen met zich mee, dat de vergelijkingen voor het goederenvervoer en het zakelijk personenverkeer in het vervoersmodel vervallen. De twee overige vergelijkingen in het vervoersmodel, die het woon-werkverkeer en de consumptieve mobiliteit (overig personenverkeer) betreffen, blijven gehandhaafd. Eveneens blijft de relatie gehandhaafd, waarin de (verwachte) reistijd van het wegverkeer afhankelijk is van de verhouding tussen de benutting van de weginfrastructuur en de maximale capaciteit van de weginfrastructuur.

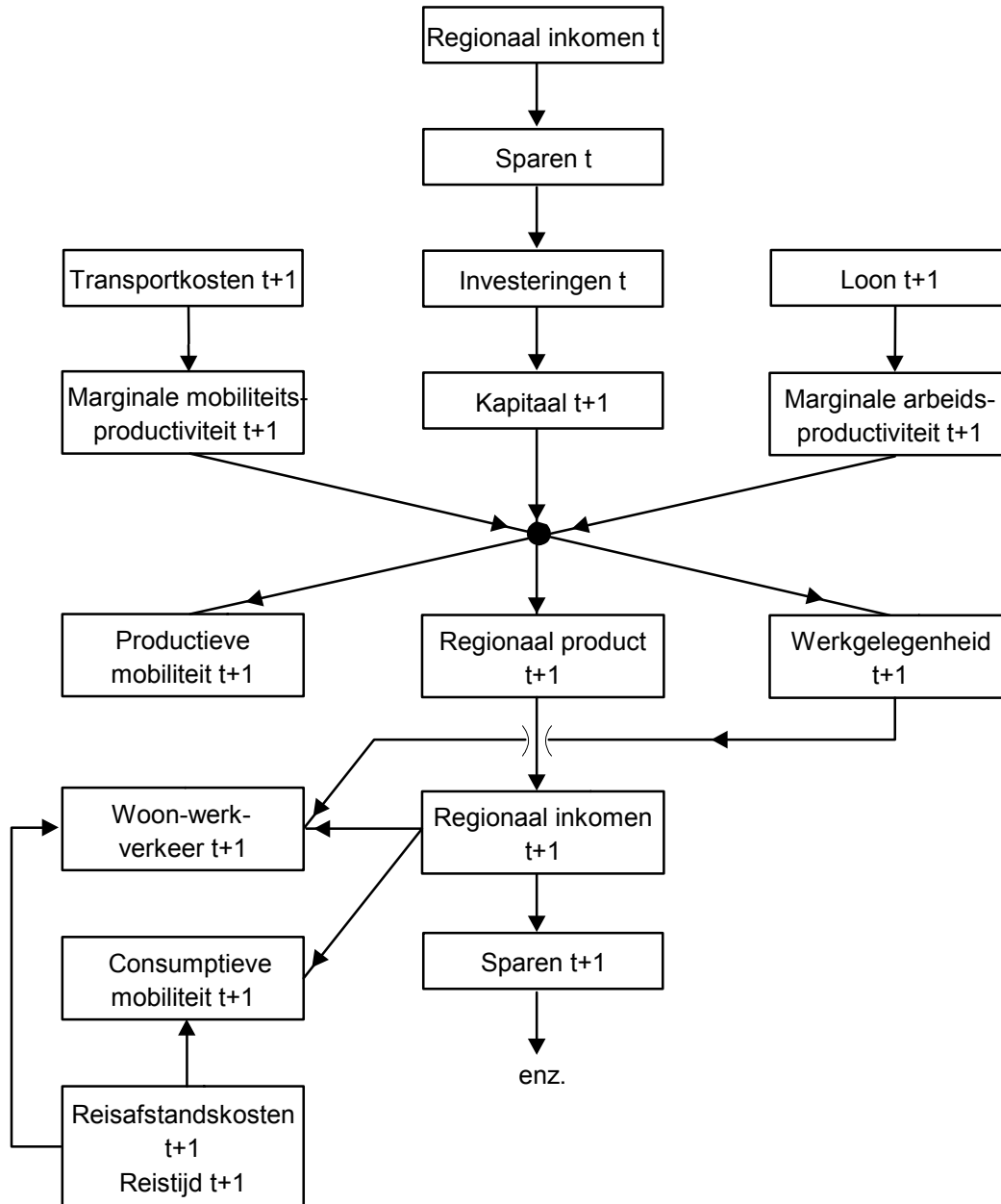
Het aldus verkregen resultaat is in figuur 2 in beeld gebracht. De structuur van het lijnendiagram is gelijk aan die van figuur 1: de linkerkolom betreft de mobiliteit, de middenkolom de economie en de rechterkolom de werkgelegenheid. Het verschil is, dat in figuur 2 ook een pijl gaat van de linkerkolom (mobiliteit) naar de middenkolom (economie). Evenals in figuur 1 zijn de relaties met betrekking tot de endogene reistijd van het wegverkeer eenvoudigheidshalve niet weergegeven.

Het probleem der simultaneïteit, namelijk de mobiliteit beïnvloedt de economie en de economie beïnvloedt de mobiliteit, heeft zich bij de bicausale koppeling niet gemanifesteerd. Dat is het gevolg van het onderscheid naar productieve mobiliteit en consumptieve mobiliteit. De productieve mobiliteit beïnvloedt de economie (regionaal product) en de economie (regionaal inkomen) beïnvloedt de consumptieve mobiliteit en het woon-werkverkeer, terwijl de consumptieve mobiliteit en het woon-werkverkeer geen *directe* invloed op de productieve mobiliteit uitoefenen. De productieve mobiliteit, de consumptieve mobiliteit en het woon-werkverkeer beïnvloeden elkaar wel op *indirecte* wijze via de voorgaande periode: hun omvang wordt medebepaald door de verwachte reistijd van het wegverkeer in periode  $t$ , die afhankelijk is van de verhouding tussen de feitelijke benutting van de weginfrastructuur in periode  $t-1$  en de maximale capaciteit van de weginfrastructuur in periode  $t$  (sectie 3.1).

Men zou zich kunnen afvragen, waar de relatie, volgens welke de productieve mobiliteit van invloed is op het regionale product, in figuur 2 is terug te vinden. Het antwoord luidt, dat de productiefunctie met arbeid, kapitaal en productieve mobiliteit als productiefactoren in drie herleide-vormvergelijkingen is getransformeerd. Deze geven het verband weer tussen respectievelijk het regionale product, de werkgelegenheid en de productieve mobiliteit

enerzijds en de kapitaalgoederenvoorraad, de marginale arbeidsproductiviteit en de marginale mobiliteitsproductiviteit anderzijds. Het is dit verband, dat in figuur 2 is weergegeven.

Figuur 2 Bicausale koppeling van het regionale vervoersmodel en het model voor regionale economische groei



Deze bicausale koppeling is niet alleen perfect, maar door de nieuwe vergelijkingen houdt ze een volledige integratie van de oorspronkelijke modellen in. Het resultaat is een model, dat een continu ontwikkelingsproces van economie en mobiliteit in wederzijdse samenhang beschrijft. In feite is het model *MOBILEC* (*MOBILiteit/EConomie*) ontstaan (Van de Vooren, 1999 en Van de Vooren & Jetten, 2002).

## 4 Koppeling van twee modellen met betrekking tot verwante onderwerpen en verwante ruimten: NRM en MOBILEC

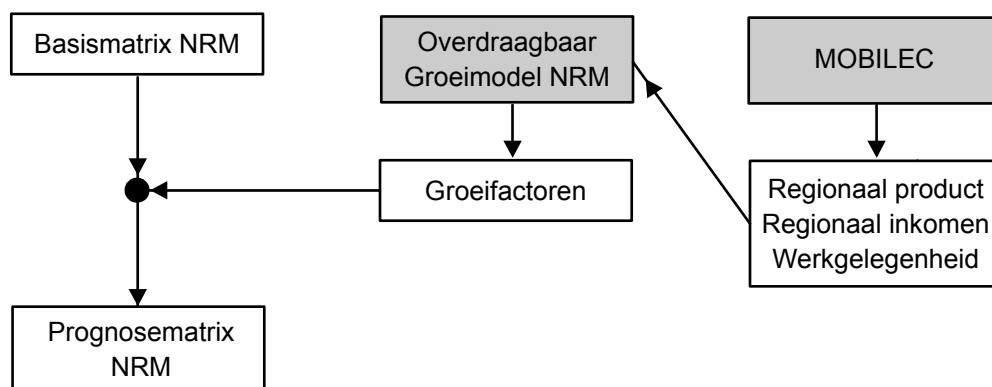
Eerst wordt het model NRM beschreven. Vervolgens worden de verschillen met het model MOBILEC aangeduid. Tenslotte worden de modellen op zes wijzen gekoppeld.

### 4.1 Het Nieuw Regionaal Model

Het *Nieuw Regionaal Model (NRM)* is een verkeersmodel van de Adviesdienst Verkeer en Vervoer van Rijkswaterstaat in Nederland (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1997). De regionale directies van Rijkswaterstaat hebben dit model in nauwe samenwerking met genoemde Adviesdienst voor hun beheergebied ontwikkeld en daarop toegepast. NRM maakt het mogelijk per traject een voorspelling te doen van de verkeersintensiteit en de vervoersomvang van het personenvervoer per auto, trein, bus/tram/metro en langzaam verkeer (exclusief lopen) en van het goederenvervoer per vrachtauto in een gegeven toekomstig jaar - momenteel 2010 en/of 2020, afhankelijk van de desbetreffende regionale directie van Rijkswaterstaat.

NRM bestaat uit de volgende onderdelen. Het basisjaar - momenteel 1995, 1997, 1998 of 2000, afhankelijk van de desbetreffende regionale directie van Rijkswaterstaat - wordt door middel van een matrix van herkomst-bestemmingsrelaties beschreven, de *basismatrix*. De situatie in 2010 respectievelijk 2020 wordt vervolgens geprognosticeerd door de basismatrix per herkomst-bestemmingsrelatie met de zogenoemde groeifactoren te vermenigvuldigen om een *prognosematrix* met betrekking tot 2010 respectievelijk 2020 te verkrijgen. De groeifactoren worden met behulp van een zogenoemd *Overdraagbaar Groeimodel* gekwantificeerd, waarvoor onder meer een uitspraak nodig is over de te verwachten ontwikkeling van het exogeen opgevatte regionaal product, regionaal inkomen en werkgelegenheid. Het model wordt in figuur 3 in beeld gebracht, met dien verstande dat het blok MOBILEC en de vandaar lopende pijl genegeerd moeten worden.

Figuur 3 NRM en de koppeling aan MOBILEC via het groeisysteem van NRM



Voor nieuwe beleidsvarianten, die in geringe mate van de referentievariant afwijken, kan de zogenoemde *Applicator* worden gebruikt. Daarmee kunnen varianten op de toekomstige verkeersintensiteit en vervoersomvang volgens het Overdraagbaar Groeimodel relatief eenvoudig en snel berekend worden. Ingeval van grote afwijkingen ten opzichte van de

referentievariant dient een nieuwe “run” met het Overdraagbaar Groeimodel te worden gemaakt.

Het Overdraagbaar Groeimodel is enkel op het personenvervoer van toepassing. Aangezien ook het goederenvervoer per vrachtauto het wegennet belast, wordt hiervoor in NRM een *basismatrix* van herkomst-bestemmingsrelaties opgesteld. De *prognosematrix* voor het goederenvervoer per vrachtauto wordt met behulp van prognoses van het *Transport-Economisch Model (TEM)* verkregen, die op basis van het geprognosticeerde aantal arbeidsplaatsen over de verkeerszones van NRM worden verdeeld. TEM is in opdracht van de Adviesdienst Verkeer en Vervoer van Rijkswaterstaat in Nederland door het onderzoeks- en opleidingsbureau NEA ontwikkeld (NEA, 1992).

De prognoses van TEM gaan uit van de te verwachten ontwikkeling van het exogeen opgevatte binnenlandse en regionale product. In dit opzicht is er geen verschil met de berekening van de groeifactoren met behulp van het Overdraagbaar Groeimodel. Het is juist dit punt, dat van belang is voor de koppeling van NRM en MOBILEC. De nu volgende beschouwingen met betrekking tot het Overdraagbaar Groeimodel zijn in dat opzicht ook op het goederenvervoer per vrachtauto van toepassing.

#### 4.2 Verschillen tussen NRM en MOBILEC

Het model MOBILEC is in sectie 3.2 beschreven als resultaat van een bicausale koppeling van een regionaal vervoersmodel en een model voor regionale economische groei. Wij kunnen hier volstaan met de aanduiding van de verschillen tussen NRM en MOBILEC.

In NRM bestaat een monocausaal verband tussen mobiliteit en economie: de economie is van invloed op de mobiliteit, maar de mobiliteit beïnvloedt niet de economie. In het NRM zijn de variabelen met betrekking tot de economie exogeen. Daarentegen bestaat er in MOBILEC een wisselwerking tussen economie en mobiliteit: de economie beïnvloedt de mobiliteit en de mobiliteit beïnvloedt de economie. In MOBILEC zijn de variabelen met betrekking tot de economie endogeen. In het Overdraagbaar Groeimodel van NRM dienen de economische variabelen waarden voor het prognosejaar te worden toegekend. In MOBILEC worden de waarden van deze economische variabelen in het prognosejaar gegenereerd via de besparingen en de daaruit voortvloeiende investeringen die een vergroting van de kapitaalgoederenvoorraad inhouden, via de lonen en de marginale arbeidsproductiviteit en via de transportkosten en de marginale mobiliteitsproductiviteit.

Aan NRM ligt een netwerk van verkeersinfrastructuur ten grondslag. Daardoor kan NRM uitspraken over de verkeersintensiteit en de vervoersomvang *per wegvak* doen. MOBILEC maakt gebruik van herkomst-bestemmingsmatrices, waarin de kwaliteit van de bereikbaarheid binnen en tussen de regio's is opgenomen. Deze kwaliteit is uitgedrukt in reisafstanden, reistijden, reisafstandskosten en reistijdskosten, waaraan een netwerk van verkeersinfrastructuur ten grondslag ligt. MOBILEC kan uitspraken doen met betrekking tot de verkeersintensiteit en de vervoersomvang binnen en tussen de regio's maar niet per wegvak.

Wij noemen nog de volgende andere verschillen tussen NRM en MOBILEC. Het NRM onderscheidt in het personenvervoer zes vervoersmotieven: woning gebonden zakelijk verkeer, niet-woninggebonden zakelijk verkeer, woon-werkverkeer, woon-onderwijsverkeer,

woon-winkelverkeer en overig verkeer. MOBILEC onderscheidt drie vervoersmotieven: productieve mobiliteit (= zakelijk verkeer), woon-werkverkeer en consumptieve mobiliteit (= overig verkeer). Het goederenvervoer per trein en schip is niet in NRM maar wel in MOBILEC opgenomen; de “modal split” van het goederenvervoer kan dus enkel met MOBILEC worden berekend. Het NRM bevat, in tegenstelling tot MOBILEC het langzaam verkeer (exclusief lopen).

### **4.3 Monocausale koppeling van NRM en MOBILEC**

Koppeling van NRM en MOBILEC kan worden ingegeven door de wens uitspraken te doen op het trajectniveau, terwijl men tevens met de effecten van het vervoer op de economie rekening wenst te houden.

#### **4.3.1 Koppeling via het groeisysteem van NRM**

De toekomstige waarden van de economische variabelen in het Overdraag Groeimodel van NRM kunnen met behulp van MOBILEC worden berekend. Deze berekende waarden hebben op de afzonderlijke regio's (COROP-gebieden in Nederland en arrondissementen in België) betrekking. Zij moeten nader worden gedifferentieerd naar een aantal verkeerszones en naar vier bedrijfssectoren. Wordt van een differentiatie naar verkeerszone afgezien, dan dienen uitspraken over de verkeersintensiteit per wegvak in het prognosejaar tot het hoofdwegennet beperkt te blijven. In figuur 3 (sectie 4.1) wordt de koppeling in beeld gebracht.

Bij de doorrekening van beleidsvarianten met behulp van het Overdraagbaar Groeimodel (Applicator) van NRM worden meestal gelijkblijvende waarden van de economische variabelen in het prognosejaar verondersteld. MOBILEC kan worden gebruikt om de economische variabelen bij diverse beleidsvarianten te ramen. De aldus berekende waarden worden in het Overdraagbaar Groeimodel (Applicator) opgenomen.

Deze koppeling is imperfect. Immers de toekomstige mobiliteit per traject volgens NRM kunnen tot de mobiliteit binnen en tussen de regio's worden geaggregeerd, die niet overeen behoeven te komen met de daarvoor door MOBILEC berekende omvang. Wanneer het gaat om de mobiliteit per wegvak, is NRM als hoofdmodel en MOBILEC als hulpmodel te beschouwen. Tegen deze achtergrond zijn de uitkomsten van de mobiliteit volgens MOBILEC van ondergeschikt belang en kunnen genegeerd worden.

#### **4.3.2 Koppeling via het groeisysteem van MOBILEC**

Momenteel kunnen met behulp van het Overdraagbaar Groeimodel van NRM de jaren 2010 en/of 2020 per traject worden geprognosticeerd. Indien een prognose voor een ander jaar, bijvoorbeeld 2030, gewenst is, kan men het Overdraagbaar Groeimodel daarvoor geschikt maken. Dit vergt veel tijd. Een veel snellere en goedkopere weg kan gevolgd worden door van het groeisysteem van MOBILEC gebruik te maken. Dit model berekent de ontwikkeling van mobiliteit (personen- en goederenvervoer) en economie in successieve perioden van drie jaar.

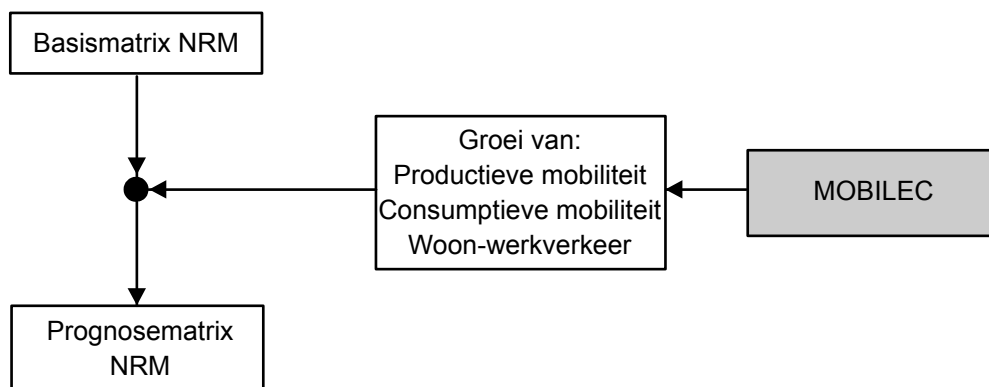
MOBILEC berekent de vervoersomvang per beleidsscenario in 2030 binnen en tussen de regio's. De mobiliteit is gedifferentieerd naar personen- en goederenvervoer per

vervoerswijze en het personenvervoer tevens naar vervoersmotief. Door de herkomst-bestemmingsmatrices met betrekking tot de vervoersomvang in 2030 te delen door die van het basisjaar worden groeifactoren verkregen. Deze groeifactoren worden op de herkomst-bestemmingsmatrices met betrekking tot de vervoersomvang van NRM toegepast om herkomst-bestemmingsmatrices voor 2030 te verkrijgen. Hiervan worden enkel de relaties gebruikt, die op het hoofdwegennet betrekking hebben.

MOBILEC bevat de gemiddelde bezetting per personenauto (personen per voertuig) en de gemiddelde belading per vrachtauto (tonnen per voertuig) in de successieve perioden. De mobiliteit per beleidsscenario in 2030 binnen en tussen de regio's wordt door de bezettingsgraad respectievelijk beladingsgraad gedeeld om het aantal voertuigen te genereren. Door de herkomst-bestemmingsmatrices met betrekking tot voertuigen in 2030 te delen door die van het basisjaar worden groeifactoren verkregen. Deze groeifactoren worden op de herkomst-bestemmingsmatrices met betrekking tot het aantal voertuigen van NRM toegepast om herkomst-bestemmingsmatrices voor 2030 te verkrijgen. Hiervan worden enkel de wegvakken gebruikt, die tot het hoofdwegennet behoren.

Deze koppeling wordt in figuur 4 in een vereenvoudigde vorm weergegeven. Ze is in de praktijk daadwerkelijk toegepast.<sup>2</sup> De koppeling is perfect, mits de verkeers- en vervoersgegevens van de basismatrix van NRM volledig consistent zijn met die van de basisperiode van MOBILEC. Daaruit volgt niet, dat een koppeling via het groeisysteem van MOBILEC de voorkeur verdient boven een (imperfecte) koppeling via het groeisysteem van NRM. Dit laatste levert namelijk meer gedifferentieerde groeifactoren op dan de (perfecte) koppeling via het groeisysteem van MOBILEC.

Figuur 4 NRM en de koppeling aan MOBILEC via het groeisysteem van MOBILEC



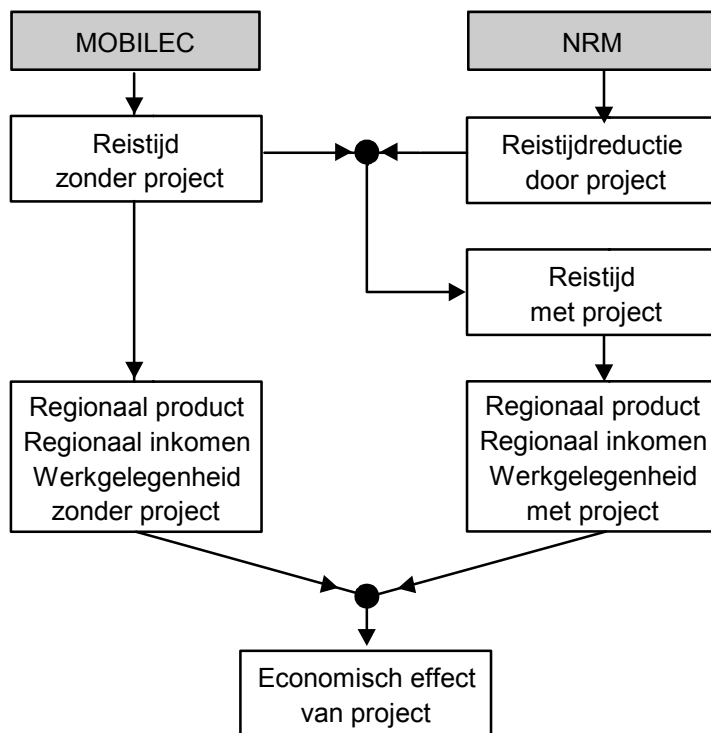
### 4.3.3 Koppeling via de reistijd

Voor de berekening van de economische effecten van infrastructuurprojecten is het NRM ongeschikt, omdat daarin de economische variabelen exogeen zijn. Wel komt MOBILEC hiervoor in aanmerking, maar dit model specificeert vervoersstromen binnen en tussen de regio's zonder ze aan wegvakken te relateren. Daarom zijn in het kader van MOBILEC rekenregels ontwikkeld om het effect van een verruiming van de capaciteit van een bepaalde verkeersverbinding op de reistijd binnen en tussen de regio's te ramen. De geraamde verandering van de reistijd wordt in MOBILEC ingebracht, waarna dit model de effecten ervan op de mobiliteit en de economie berekent. Een preciezere raming van de capaciteitsverruiming van een bepaalde wegverbinding op de reistijd wordt echter met NRM

verkregen, in het bijzonder wanneer het om kleine infrastructuurverbeteringen gaat. De aangeduide zwakke punten van de twee modellen kunnen worden geëlimineerd door ze aan elkaar via de reistijd te koppelen.

Veronderstel een infrastructuurproject, dat een capaciteitverruiming van een bestaande wegverbinding betreft en in 2009 in gebruik zal worden genomen. Met behulp van het Overdraagbaar Groeimodel (Applicator) van NRM wordt de reistijdreductie ten gevolge van de capaciteitsverruiming berekend voor de relevante herkomst-bestemmingsrelaties in 2010. De (verwachte) reistijd in de periode 2009-2011 in MOBILEC wordt met de reistijdreductie volgens NRM verlaagd. Vervolgens berekent MOBILEC de ontwikkelingen van de economie op basis van de reistijd met en zonder het infrastructuurproject voor de periode 2009-2011 en de daaropvolgende perioden van drie jaar. Het verschil in uitkomst tussen de situatie met en zonder het infrastructuurproject geeft het economische effect ervan weer.<sup>3</sup> Deze koppeling is in figuur 5 in beeld gebracht.

Figuur 5 Koppeling van MOBILEC aan NRM via de reistijd



Aldus kunnen ook de economische effecten van kleine infrastructuurprojecten worden doorgerekend, terwijl bovendien de ontwikkeling van de economische effecten in de loop van de tijd in beeld wordt gebracht. Deze werkwijze is in de praktijk daadwerkelijk toegepast.<sup>4</sup>

Deze koppeling is imperfect, omdat de twee modellen verschillende prognoses van de mobiliteit in de periode 2009-2011 geven. In deze werkwijze staan de economische effecten vanaf de periode 2009-2011 centraal en die worden enkel door MOBILEC berekend. Derhalve fungeert MOBILEC als hoofdmodel en NRM als hulpmodel.



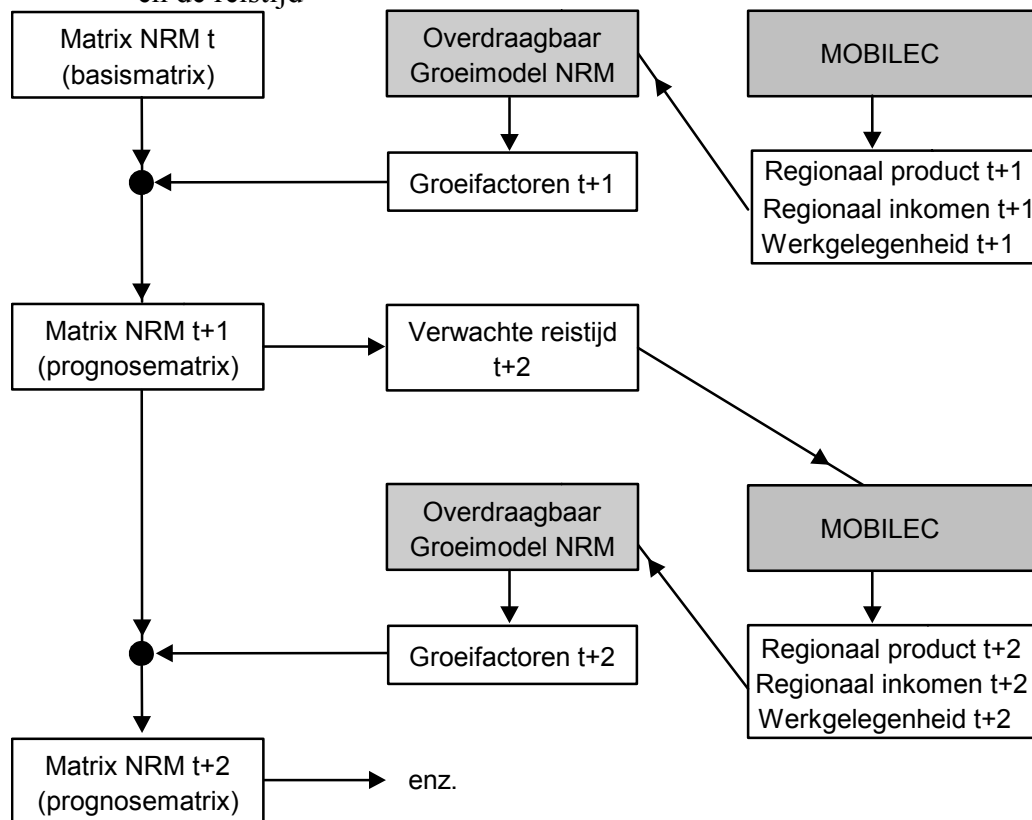
#### 4.4 Bicausale koppeling van NRM en MOBILEC

De monocausale koppelingen zijn via het groeisysteem van NRM of MOBILEC dan wel via de reistijd totstandgekomen. In de onderhavige sectie zullen wij bicausale koppelingen via het groeisysteem van NRM of MOBILEC *en* de reistijd behandelen.

##### 4.4.1 Koppeling via het groeisysteem van NRM en de reistijd

Figuur 6 geeft een bicausale koppeling van NRM en MOBILEC via het groeisysteem van NRM weer. Uitgangspunt is de herkomst-bestemmingsmatrix van periode  $t$  (basismatrix; een periode omvat meerdere jaren) volgens NRM. De groeifactoren, die nodig zijn om de matrix van periode  $t+1$  (prognosematrix) te berekenen, worden uit het Overdraagbaar Groeimodel van NRM afgeleid. Daarin zijn waarden voor de exogene economische variabelen in periode  $t+1$  nodig, die door MOBILEC worden gegenereerd. Zoals reeds is opgemerkt, is een nadere differentiatie naar verkeerszones van NRM gewenst, tenzij de uitspraken tot de wegvakken van het hoofdwegennet beperkt blijven. Toepassing van de aldus gekwantificeerde groeifactoren op de matrix van periode  $t$  levert onder meer een matrix op van de reistijden in periode  $t+1$ . Deze wordt vervolgens in MOBILEC ingebracht als de *verwachte* reistijd in periode  $t+2$ . Vervolgens berekent MOBILEC de economische variabelen in het Overdraagbaar Groeimodel in periode  $t+2$ , enzovoorts.

Figuur 6 Bicausale koppeling van NRM en MOBILEC via het groeisysteem van NRM en de reistijd



De koppeling van MOBILEC aan NRM gaat gepaard met een verwijdering van de vergelijking van de verwachte reistijd in MOBILEC. Door de verwachte reistijd in

MOBILEC gelijk te stellen aan de werkelijke reistijd volgens NRM in de voorgaande periode, wordt het probleem der simultaneïteit bij deze bicausale koppeling opgelost.

De overgang van een monocausale naar een bicausale koppeling levert geen perfecte koppeling op, doordat de koppeling via het groeisysteem van NRM verloopt, zoals in subsectie 4.3.1 uiteengezet is. Wanneer het gaat om de mobiliteit per wegvak, is NRM als hoofdmodel en MOBILEC als hulpmodel te beschouwen.

Een noodzakelijke voorwaarde voor een bicausale koppeling van NRM en MOBILEC is, dat NRM in staat is successieve perioden te prognosticeren, die op het systeem van perioden van MOBILEC aansluiten. Zo'n aansluiting is niet mogelijk, zolang het Overdraagbaar Groeimodel van NRM op prognoses voor een zeer beperkt aantal jaren gericht is, zoals momenteel 2010 en/of 2020. Teneinde zo'n bicausale koppeling betaalbaar te houden, is het van belang, dat een periode meerdere jaren omvat. Een periode in MOBILEC omvat drie jaar.

De economische effecten van infrastructuurprojecten kunnen op basis van de beschreven koppeling worden berekend. Veronderstel een capaciteitsverruiming, die in periode  $t+1$  in gebruik zal worden genomen. Het Overdraagbaar Groeimodel (Applicator) van NRM berekent de daaruit voortvloeiende reistijdreductie in periode  $t+1$ . Vervolgens worden in MOBILEC de verwachte reistijd in periode  $t+2$  met en zonder het infrastructuurproject ingebracht. Deze bicausale koppeling brengt met zich mee, dat een in gebruik genomen infrastructuurproject pas in de volgende periode een eerste economisch effect teweegbrengt.

#### **4.4.2 Koppeling via het groeisysteem van MOBILEC en de reistijd**

In plaats van de berekening van de groeifactoren met behulp van het Overdraagbaar Groeimodel van NRM, kan ook van het groeisysteem van MOBILEC gebruik worden gemaakt. Voor het overige is de koppeling niet anders dan bij de bicausale koppeling via het groeisysteem van NRM. Deze koppeling is perfect, doordat de koppeling via het groeisysteem van MOBILEC verloopt, zoals in subsectie 4.3.3 uiteengezet is. Het eerder gesignaleerde vereiste, dat NRM in staat moet zijn om successieve perioden te prognosticeren, is hier niet problematisch, omdat het Overdraagbaar Groeimodel door het groeisysteem van MOBILEC is vervangen. Dat genereert immers successieve perioden van drie jaar.

De economische effecten van infrastructuurprojecten kunnen op basis van de beschreven koppeling worden berekend. Ook nu brengt een in gebruik genomen infrastructuurproject pas in de volgende periode een eerste economisch effect teweeg. Het voordeel van deze bicausale koppeling via het groeisysteem van MOBILEC ten opzichte van de monocausale koppeling in subsectie 4.3.3 is de perfecte koppeling, die nu aan de berekende economische effecten ten grondslag ligt.

### **5 Koppeling van twee modellen met betrekking tot verwante onderwerpen en verwante ruimten: TIGRIS en MOBILEC**

Eerst wordt het model TIGRIS beschreven. Vervolgens worden de verschillen met MOBILEC aangeduid. Tenslotte worden de modellen op twee wijzen gekoppeld.

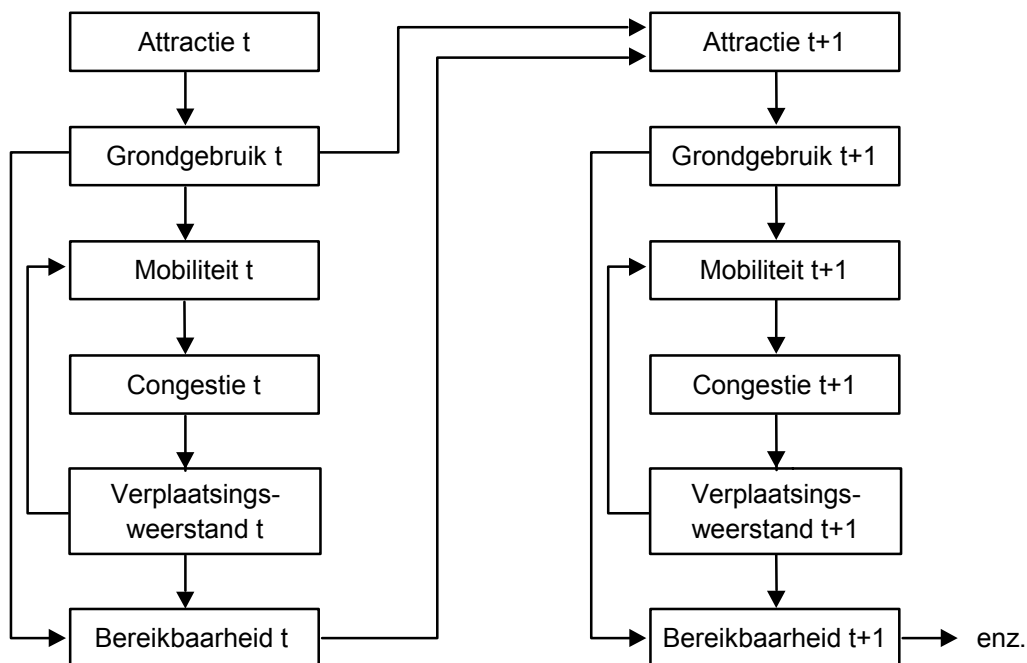
## 5.1 Het model TIGRIS

Het model *TIGRIS* (*Transport Infrastructuur Grondgebruik Interactie Simulatie*) is door het adviesbureau AGV (Adviesgroep voor Verkeer en vervoer te Nieuwegein) in opdracht van de Adviesdienst Verkeer en Vervoer van het Nederlandse Ministerie van Verkeer en Waterstaat opgesteld (Van der Hoorn & Van der Vlugt, 1998; Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1999, waar het model wiskundig is weergegeven). TIGRIS beschrijft de samenhangen tussen transport, infrastructuur en het grondgebruik voor bedrijven, woningen en voorzieningen. Daarbij zijn *verplaatsingsweerstand* en *bereikbaarheid* kernbegrippen. De verplaatsingsweerstand wordt als gegeneraliseerde transportkosten berekend. Voor bereikbaarheid wordt een indicator in de vorm van een potentiaal geformuleerd.

Figuur 7 geeft het model in zijn kern weer. Veronderstel een bepaalde attractie van een zone in periode  $t$ . Deze attractie manifesteert zich in periode  $t$  in de vorm van grondgebruik voor bedrijven, woningen en voorzieningen, wat met mobiliteit gepaard gaat, die op haar beurt bepalend is voor de congestie, de verplaatsingsweerstand en de bereikbaarheid van de zone in periode  $t$ . De bereikbaarheid in periode  $t$  is vervolgens van invloed op de attractie van de zone in periode  $t+1$ , enzovoorts. Deze samenhang wordt in figuur 7 in beeld gebracht. Daarin is tevens weergegeven, dat:

- de attractie niet alleen van de bereikbaarheid maar ook van het grondgebruik in de voorgaande periode afhankelijk is;
- de bereikbaarheid niet alleen indirect maar ook direct de invloed van het grondgebruik ondergaat;
- er een terugkoppeling bestaat van de verplaatsingsweerstand naar de mobiliteit.

Figuur 7 Vereenvoudigde weergave van het model TIGRIS



In feite beschrijft het model de interactie tussen grondgebruik en mobiliteit bij een gegeven infrastructuur. De mobiliteit omvat enkel het *personen*vervoer per auto en openbaar vervoer *tussen* de zones. Een regio bevat een groot aantal zones (provincie Zuid-Holland bijvoorbeeld:

45 zones, 6 COROP-gebieden). Met behulp van het model is het effect van een infrastructuurverbetering op het grondgebruik per zone in termen van aantallen arbeidsplaatsen, woningen en voorzieningen te berekenen. Als exogene variabelen fungeren de nationale bevolkingsomvang, de nationale woningbezetting, het nationale autobezit en de regionale werkgelegenheid.

## 5.2 Verschillen tussen TIGRIS en MOBILEC

In TIGRIS is de werkgelegenheid in een regio van invloed op de mobiliteit tussen de zones in deze regio, maar de interzonale mobiliteit beïnvloedt niet de regionale werkgelegenheid. Daarentegen bestaat er in MOBILEC een wisselwerking tussen enerzijds de intraregionale en interregionale mobiliteit en anderzijds de regionale werkgelegenheid. Ofschoon de werkgelegenheid per regio in TIGRIS exogeen is, is de werkgelegenheid per zone endogeen. Vanuit het gezichtspunt van de regionale werkgelegenheid kan men TIGRIS als een *verdeelmodel* beschouwen.

Aan TIGRIS ligt een netwerk van verkeersinfrastructuur ten grondslag. Zoals reeds eerder is opgemerkt, maakt MOBILEC gebruik van herkomst-bestemmingsmatrices, waarin de kwaliteit van de bereikbaarheid binnen en tussen de regio's is opgenomen, met als grondslag een netwerk van verkeersinfrastructuur. In tegenstelling tot MOBILEC onderscheidt TIGRIS geen vervoersmotieven en bevat het geen goederenvervoer.

## 5.3 Monocausale koppeling van TIGRIS en MOBILEC

Koppeling van TIGRIS en MOBILEC kan worden ingegeven door de wens uitspraken te doen op een subregionaal niveau, in casu op zonaal niveau, terwijl men tevens met de effecten van het vervoer op de *regionale* werkgelegenheid rekening wenst te houden.

### 5.3.1 Koppeling via de werkgelegenheid

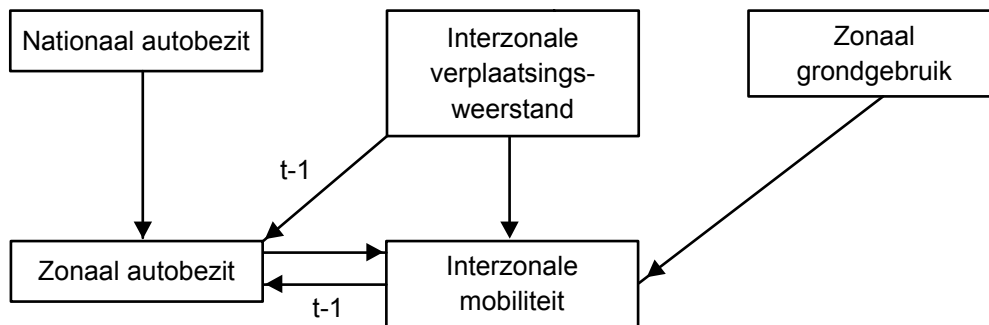
De toekomstige omvang van de werkgelegenheid per regio kan met behulp van MOBILEC worden berekend. Deze moet nader worden gedifferentieerd naar vier bedrijfssectoren, alvorens ze in TIGRIS in te brengen.

Deze koppeling is imperfect. Immers de toekomstige interzonale mobiliteit volgens TIGRIS kan tot de intra- en interregionale mobiliteit worden geaggregeerd, die niet overeen hoeft te komen met de daarvoor door MOBILEC berekende omvang (afgezien van intrazonaal verkeer). Wanneer het gaat om de interzonale mobiliteit van personen, is TIGRIS als hoofdmodel en MOBILEC als hulpmodel te beschouwen.

### 5.3.2 Koppeling via de mobiliteit en de werkgelegenheid

Figuur 8 geeft aan, hoe het nationale autobezit via het zonale autobezit, de interzonale verplaatsingsweerstand en het zonale grondgebruik de interzonale mobiliteit bepalen. Daarbij wordt rekening gehouden met de invloed van de interzonale mobiliteit en de interzonale verplaatsingsweerstand in periode  $t-1$  op het zonale autobezit in periode  $t$ .

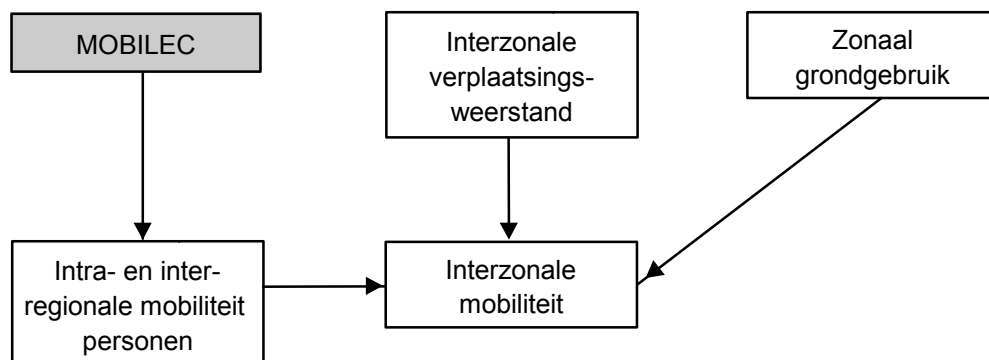
Figuur 8 Bepaling van de interzonale mobiliteit in TIGRIS



Een koppeling van de twee modellen via de mobiliteit zou de vervanging van de variabelen “nationaal autobezit” en “zonaal autobezit” van TIGRIS door de variabelen met betrekking tot de intra- en interregionale mobiliteit van personen van MOBILEC kunnen inhouden. De door MOBILEC gegenereerde omvang van de intra- en interregionale mobiliteit van personen wordt in TIGRIS door de variabelen “interzonale verplaatsingsweerstand” en “grondgebruik” naar zone verdeeld. Dit is in figuur 9 in beeld gebracht.

De koppeling via de mobiliteit en de werkgelegenheid is perfect. Daarbij fungeert TIGRIS als een verdeelmodel naar zone ten opzichte van MOBILEC. De consequentie van deze koppeling is de uitsluiting van intrazonaal verkeer.

Figuur 9 Bepaling van de interzonale mobiliteit via koppeling van TIGRIS aan MOBILEC



#### 5.4 Bicausale koppeling van TIGRIS en MOBILEC

TIGRIS gaat uit van een aantal exogene variabelen op een hoger schaalniveau dan de zone. Het model *verdeelt* de daarop betrekking hebbende waarden naar zone. Aldus beschouwd, komt TIGRIS niet in aanmerking voor een terugkoppeling naar MOBILEC. Een bicausale koppeling van TIGRIS en MOBILEC is derhalve onmogelijk.

### 6 Koppeling van twee modellen met betrekking tot dezelfde onderwerpen maar verschillende ruimten

Er komen twee modellen aan de orde: MOBILEC-Nederland en MOBILEC-België. Nadat deze modellen zijn beschreven, worden zij gekoppeld.

## 6.1 MOBILEC-Nederland

MOBILEC-Nederland houdt tot zekere hoogte rekening met de invloed van het buitenland op de mobiliteit in Nederland. Het model bevat namelijk het goederenvervoer tussen de Nederlandse COROP-gebieden enerzijds en België/Luxemburg, Duitsland en Frankrijk anderzijds. De benodigde statistische gegevens zijn afkomstig van NEA (Bureau voor transportonderzoek en –opleiding te Rijswijk). Afstanden en reistijden in relatie tot genoemd buitenland worden tussen het desbetreffende Nederlandse COROP-gebied en respectievelijk Brussel, Frankfurt/Main en Parijs gemeten.

De omvang van het goederenvervoer van een Nederlandse regio naar België/Luxemburg, Duitsland en Frankrijk is in het model afhankelijk van het binnenlandse product van genoemde landen en de transportkosten. Deze binnenlandse producten en de transportkosten van het wegverkeer zijn, voor zover ze op het buitenland betrekking hebben, exogene variabelen. Wellicht ten overvloede zij opgemerkt, dat de transportkosten van het spoorvervoer en de binnenvaart ook binnen Nederland exogeen zijn (sectie 3.1).

Een systematisch overzicht van het personenvervoer tussen Nederland en het buitenland is niet voorhanden. Daarom bevat het model geen grensoverschrijdend personenvervoer.

## 6.2 MOBILEC-België

MOBILEC-België houdt tot zekere hoogte rekening met de invloed van het buitenland op de mobiliteit in België. Het model bevat namelijk het goederenvervoer tussen de Belgische arrondissementen enerzijds en Nederland, Duitsland, Luxemburg en Frankrijk anderzijds. De benodigde statistische gegevens zijn afkomstig van NIS (Nationaal Instituut voor de Statistiek: goederenvervoer per vrachtauto en per schip) en van NMBS (Nationale Maatschappij der Belgische Spoorwegen: goederenvervoer per trein). Afstanden en reistijden in relatie tot genoemd buitenland worden tussen het desbetreffende Belgische arrondissement en respectievelijk Rotterdam, Frankfurt/Main, Luxemburg (stad) en Parijs gemeten.

De omvang van het goederenvervoer van een Belgisch arrondissement naar Nederland, Duitsland, Luxemburg en Frankrijk is in het model afhankelijk van het binnenlandse product van genoemde landen en de transportkosten. Deze binnenlandse producten en de transportkosten van het wegverkeer zijn, voor zover ze op het buitenland betrekking hebben, exogene variabelen.

NIS beschikt over het gegevens van het woon-werkverkeer van een Belgisch arrondissement naar Nederland, Duitsland, Luxemburg en Frankrijk (Volkstelling 1991), maar niet in omgekeerde richting en evenmin met betrekking tot het overige personenvervoer in beide richtingen. Het grootste deel van de benodigde statistische gegevens met betrekking tot het grensoverschrijdende personenvervoer ontbreekt dus, weshalve ervan afgezien is dit vervoer in het model op te nemen.

### 6.3 Monocausale koppeling van MOBILEC-Nederland en MOBILEC-België

Prognoses van mobiliteit en economie met behulp van MOBILEC-Nederland vereisen onder meer toekomstige waarden voor de exogene variabelen “binnenlands product van België” en “transportkosten met betrekking tot België”. Deze waarden worden door MOBILEC-België gegenereerd. Dit model kan deze waarden slechts genereren, zodra de toekomstige waarden van de exogene variabelen “binnenlands product van Nederland” en “transportkosten met betrekking tot Nederland” ingebracht kunnen worden. De moeilijkheid hiervan is gelegen in de omstandigheid, dat voor deze variabelen MOBILEC-Nederland nodig is. Er is dus een bicausale koppeling nodig. De conclusie luidt, dat een monocausale koppeling niet volstaat.

### 6.4 Bicausale koppeling van MOBILEC-Nederland en MOBILEC-België

De poging om een monocausale koppeling van MOBILEC-Nederland aan MOBILEC-België tot stand te brengen dwingt tot een bicausale koppeling. De moeilijkheid van een bicausale koppeling is gelegen in het optreden van simultaneïteit. De twee modellen hebben namelijk precies dezelfde structuur, waarin sommige exogene variabelen van het ene model uiteindelijk van soortgelijke exogene variabelen van het andere model afhankelijk zijn. Er ontstaat daardoor een cirkelredenering, die als volgt doorbroken kan worden.

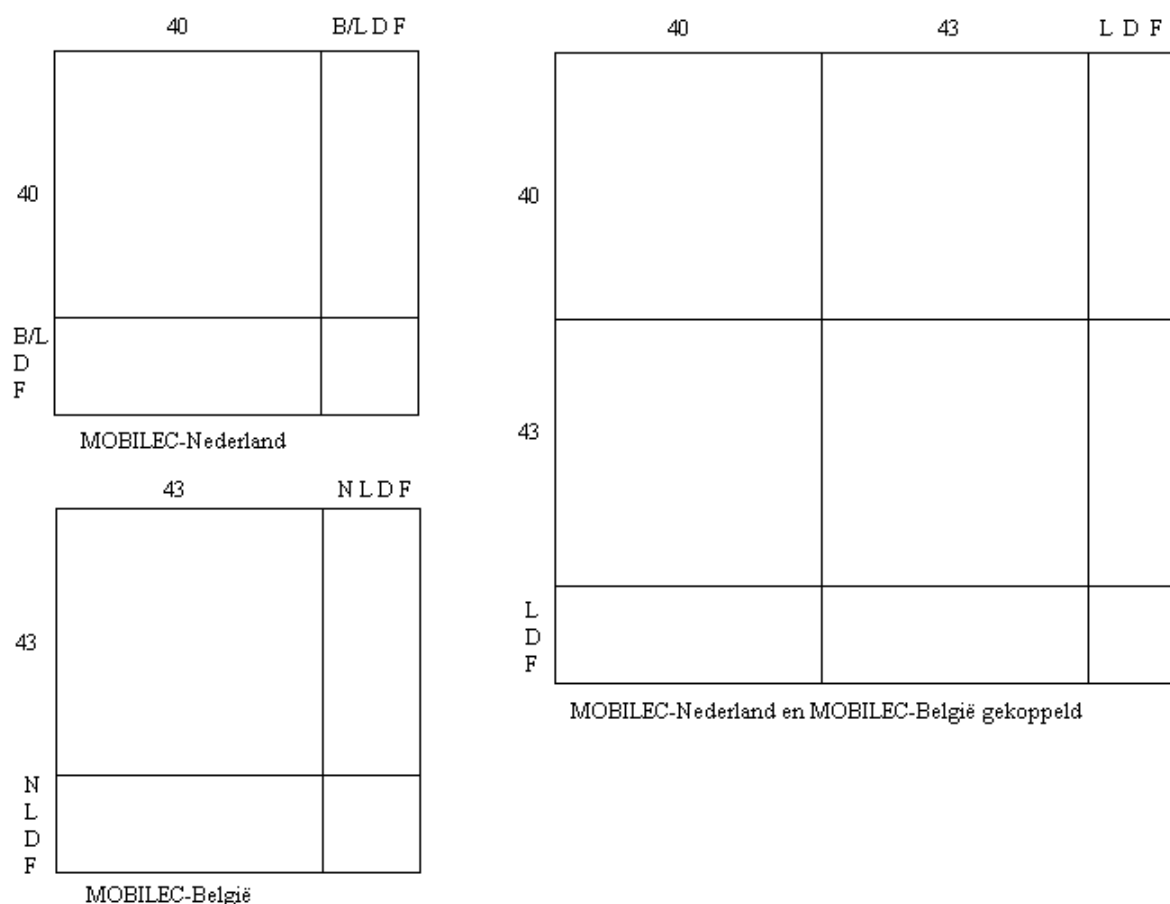
In figuur 10 zijn links de herkomst-bestemmingsmatrices van MOBILEC-Nederland en MOBILEC-België weergegeven. De herkomst-bestemmingsmatrices betreffen:

- (a) reisafstanden van het personen- en goederenvervoer per vervoerswijze;
- (b) reistijden van het personen- en goederenvervoer per vervoerswijze;
- (c) omvang van het personenvervoer per vervoerswijze en vervoersmotief;
- (d) omvang van het goederenvervoer per vervoerswijze.

Rechts in figuur 10 staan de herkomst-bestemmingsmatrices van de gekoppelde modellen MOBILEC-Nederland en MOBILEC-België. Deze koppeling is als volgt totstandgekomen. De rij “België/Luxemburg” in MOBILEC-Nederland, een matrix van  $1 \times 40$  (van België/Luxemburg naar de 40 Nederlands COROP-gebieden), wordt vervangen door de matrix  $43 \times 40$  (van de 43 Belgische arrondissementen naar de 40 Nederlandse COROP-gebieden) en door de matrix  $1 \times 40$  (van het groothertogdom Luxemburg naar de 40 Nederlandse COROP-gebieden). De kolom “België/Luxemburg” in MOBILEC-Nederland, een matrix van  $40 \times 1$  (van de 40 Nederlandse COROP-gebieden naar België/Luxemburg), wordt vervangen door de matrix  $40 \times 43$  (van de 40 Nederlandse COROP-gebieden naar de 43 Belgische arrondissementen) en door de matrix  $40 \times 1$  (van de 40 Nederlandse COROP-gebieden naar het groothertogdom Luxemburg). Evenzo worden de rij en de kolom “Nederland” in MOBILEC-België vervangen.

Deze wijze van koppeling resulteert in herkomst-bestemmingsmatrices van  $86 \times 86$ , waarvan de submatrices van  $83 \times 83$  het “hart” en de submatrices van  $3 \times 3$  de “buitenlandse rand” vormen. Integreert men in de twee gekoppelde modellen het groothertogdom Luxemburg, dan verkrijgt men MOBILEC-Benelux. De omvang van de herkomst-bestemmingsmatrices blijft  $86 \times 86$ , maar het hart neemt toe tot submatrices van  $84 \times 84$  en de buitenlandse rand neemt af tot submatrices van  $2 \times 2$ .

Figuur 10 Herkomst-bestemmingsmatrices van MOBILEC-Nederland en MOBILEC-België en van hun koppeling



Deze koppeling houdt een volledige integratie van de oorspronkelijke modellen in. Het resultaat is een model, waarin de regionale producten van alle Nederlandse COROP-gebieden, alle Belgische arrondissementen en het groothertogdom Luxemburg endogeen zijn. Enkel het binnenlandse product van Duitsland en Frankrijk is exogeen gebleven. Hetzelfde geldt voor de transportkosten respectievelijk de reistijd voor het wegverkeer. Aldus is het probleem van de simultaneïteit opgelost. Bovendien is nu vanuit het gezichtspunt van MOBILEC-Nederland een differentiatie van België/Luxemburg in 43 arrondissementen en het groothertogdom verkregen en vanuit het gezichtspunt van MOBILEC-België een differentiatie van Nederland in 40 COROP-gebieden.

Voor MOBILEC-Benelux statistische gegevens nodig met betrekking tot (a) t/m (d):

- binnen en tussen de Nederlandse COROP-gebieden (afkomstig van MOBILEC-Nederland);
- binnen en tussen de Belgische arrondissementen (afkomstig van MOBILEC-België);
- binnen het groothertogdom Luxemburg (nieuw);
- tussen de Nederlandse COROP-gebieden en de Belgische arrondissementen (nieuw);
- tussen de Nederlandse COROP-gebieden en het groothertogdom Luxemburg (nieuw);
- tussen de Belgische arrondissementen en het groothertogdom Luxemburg (personenvervoer nieuw en goederenvervoer afkomstig van MOBILEC-België).



De statistische gegevens met betrekking tot het goederenvervoer in MOBILEC-Nederland zijn afkomstig van NEA en in MOBILEC-België afkomstig van NIS en NMBS. Het is ongewenst om verschillende statistische bronnen met betrekking tot het *grensoverschrijdende* goederenvervoer binnen de Benelux toe te passen. Hiervoor verdienen de gegevens van NEA de voorkeur, omdat de gegevens van NIS en NMBS met betrekking tot Nederland niet regionaal onderverdeeld zijn. Weliswaar zijn de gegevens van NEA ten aanzien van België uitsluitend naar provincies gedifferentieerd, maar zij kunnen op basis van het regionale product naar arrondissementen worden onderverdeeld.

Er is een speciale methodiek ontwikkeld om het *grensoverschrijdende* personenvervoer te ramen, die aansluit op de statistische gegevens van NIS inzake het woon-werkverkeer van een Belgisch arrondissement naar totaal Nederland en het groothertogdom Luxemburg.

## 7 Samenvattende conclusies

Een interessant alternatief voor een uitbreiding van een model is een koppeling aan een ander, reeds bestaand model. Dit is met name interessant, indien de koppeling sneller en goedkoper is dan een modeluitbreiding, althans voor zover de modeluitbreiding kwalitatief geen beter resultaat biedt.

Modellen kunnen op drie wijzen worden gekoppeld:

- (1) via hun exogene variabelen;
- (2) via hun endogene variabelen;
- (3) via nieuwe vergelijkingen.

De koppeling kan *monocausaal* of *bicausaal* van aard zijn. Op zichzelf beschouwd, verdienen bicausale koppelingen, indien mogelijk en zinvol, de voorkeur. Zij vereisen echter de oplossing van het probleem der *simultaniteit*. Een bicausale koppeling is niet mogelijk, indien een van de te koppelen modellen een *verdeelmodel* is.

Een koppeling kan *perfect* of *imperfect* zijn. Uiteraard verdient een perfecte koppeling de voorkeur, maar een imperfecte koppeling kan in de praktijk zinvol zijn.

De wijzen van koppeling en de typering van de koppelingen zijn aan de hand van de volgende modellen behandeld:

- een regionaal vervoersmodel en een model voor regionale economische groei als voorbeeld van een koppeling van twee modellen, die op verschillende onderwerpen maar op dezelfde ruimten betrekking hebben;
- het Nieuw Regionaal Model (NRM) en het model MOBILEC als voorbeeld van een koppeling van twee modellen, die op verwante onderwerpen en op verwante ruimten betrekking hebben;
- het model TIGRIS en het model MOBILEC als tweede voorbeeld van een koppeling van twee modellen, die op verwante onderwerpen en verwante ruimten betrekking hebben;
- het model MOBILEC-Nederland en het model MOBILEC-België als voorbeeld van een koppeling van twee modellen, die op dezelfde onderwerpen maar op verschillende ruimten betrekking hebben.

Tabel 1 geeft weer, welke modellen in deze paper gekoppeld worden en of de koppeling monocausaal dan wel bicausaal en of ze perfect dan wel imperfect is. Uit het overzicht blijkt, dat niet alle monocausale koppelingen imperfect en alle bicausale koppelingen perfect zijn. Een bicausale koppeling van TIGRIS en MOBILEC en een monocausale koppeling van MOBILEC-Nederland en MOBILEC-België zijn niet mogelijk.

Tabel 1 Overzicht van gekoppelde modellen

	Monocausaal	Bicausaal
Perfect	Vervoersmodel + Economisch Groeimodel  NRM + MOBILEC via groeisysteem MOBILEC  TIGRIS + MOBILEC via mobiliteit en werkgelegenheid	Vervoersmodel + Economisch Groeimodel (= MOBILEC)  NRM + MOBILEC via groeisysteem MOBILEC  MOBILEC-NL + MOBILEC-B + Luxemburg (= MOBILEC-Benelux)
Imperfect	NRM + MOBILEC via groeisysteem NRM  NRM + MOBILEC via reistijd  TIGRIS + MOBILEC via werkgelegenheid	NRM + MOBILEC via groeisysteem NRM

De ontwikkeling van de economische effecten van een infrastructuurproject in de loop van de tijd kan op basis van een koppeling van NRM en MOBILEC berekend worden. Bij een monocausale koppeling brengt een in gebruik genomen infrastructuurproject nog in dezelfde periode het eerste economische effect teweeg, bij een bicausale koppeling pas in de volgende periode.

De volgende koppelingen zijn in de praktijk daadwerkelijk toegepast:

- een bicausale koppeling van een regionaal vervoersmodel en een model voor regionale economische groei, resulterend in het model MOBILEC;
- een monocausale koppeling van NRM en MOBILEC via het groeisysteem van MOBILEC;
- een monocausale koppeling van NRM en MOBILEC via de reistijd;
- een bicausale koppeling van MOBILEC-Nederland en MOBILEC-België met toevoeging van het groothertogdom Luxemburg, resulterend in het model MOBILEC-Benelux.

De in de praktijk toegepaste bicausale koppelingen zijn perfect. De in de praktijk toegepaste monocausale koppeling via het groeisysteem van MOBILEC is ook perfect, mits de verkeers- en vervoersgegevens van de basismatrix van NRM volledig consistent zijn met die van de basisperiode van MOBILEC. De in de praktijk toegepaste monocausale koppeling via de reistijd is imperfect.

Een perfecte koppeling is een noodzakelijke voorwaarde voor een volledige *integratie* van de oorspronkelijke modellen. De volledige integratie komt door middel van nieuwe vergelijkingen tot stand. De koppelingsresultaten MOBILEC (algemeen) en MOBILEC-Benelux zijn voorbeelden hiervan.

## Noten

1. Er wordt ook uitgegaan van een exogene bezettinggraad van de personenauto (gemiddeld aantal reizigers per voertuig) en van een exogene beladingsgraad van de vrachtauto (gemiddeld aantal tonnen per voertuig). Dit wordt als volgt in de transportkosten per (vracht)auto verwerkt.

*Transportkosten per reiziger in het zakelijk verkeer* = (reisafstandskosten per afstandseenheid : gemiddelde bezetting per auto) x reisafstand + reistijdskosten per tijdseenheid x *reistijd*.

*Reisafstandskosten per reiziger in het woon-werkverkeer respectievelijk het overig verkeer* = (reisafstandskosten per afstandseenheid : gemiddelde bezetting per auto) x reisafstand.

*Transportkosten per ton in het goederenvervoer* = (reisafstandskosten per afstandseenheid : gemiddelde belading per vrachtauto) x reisafstand + (reistijdskosten per tijdseenheid : gemiddelde belading per vrachtauto) x *reistijd*.

De cursief weergegeven variabelen zijn endogeen.

2. Deze werkwijze is door Rijkswaterstaat directie Limburg toegepast voor de berekening van de verkeersintensiteiten op het Limburgse autosnelwegennet in het kader van een strategische visie op verkeer en vervoer in Limburg.

3. De beperking van het Overdraagbaar Groeimodel (Applicator) tot 2010 en/of 2020 leidt in de praktijk tot een moeilijkheid, wanneer de capaciteitsverruiming niet in de perioden 2009-2011 of 2018-2020 van MOBILEC plaatsvindt. Veronderstel een capaciteitsverruiming, die in 2015 in gebruik wordt genomen. Het Overdraagbaar Groeimodel (Applicator) zal dan voor 2020 moeten worden toegepast om de reistijdreductie in 2020 te berekenen. De (verwachte) reistijd in de periode 2015-2017 in MOBILEC wordt, bij wijze van benadering, met de reistijdreductie in 2020 verlaagd. Vervolgens berekent MOBILEC de ontwikkeling van de economie op basis van de reistijd met en zonder het infrastructuurproject voor de periode 2015-2017 en de daaropvolgende perioden van drie jaar.

Op deze werkwijze is een verfijning aan te brengen. De met het Overdraagbaar Groeimodel (Applicator) berekende reistijdreductie in 2020 kan bij benadering worden getransformeerd in een reistijdreductie in de periode 2015-2017 door de reistijdreductie in 2020 te vermenigvuldigen met het quotiënt van de reistijd in 2015-2017 en de reistijd in 2018-2020 met betrekking tot de situatie zonder het infrastructuurproject.

4. Deze werkwijze is/wordt door de directies Oost-Nederland, Utrecht en Limburg van Rijkswaterstaat toegepast bij het opstellen van Trajectnota's/MER met betrekking tot de trajecten Eemnes-Barneveld, Barneveld-Deventer en Deventer-Hengelo van de A1 en de trajecten Oudenrijn-Deil en Grathem-Urmond van de A2.

## Referenties

### *MOBILEC*

Vooren, F.W.C.J. van de (1999), "A Policy Oriented Model about Economy, Mobility, Infrastructure and Other Regional Features", 8<sup>th</sup> World Conference on Transport Research, Antwerpen, 1998, in: *World Transport Research*, vol. 4, Elsevier Science, pp. 43-56.

Vooren, F.W.C.J. van de, & J. Jetten (2002), "De betekenis van transport en transportbeleid voor de economische groei", *Tijdschrift Vervoerswetenschap*, opgenomen in *Connektie*, juni, pp. 33-38 (een mathematische versie hiervan: rapport 2001-026, Universiteit Antwerpen, Vakgroep Transport en Ruimtelijke Economie).

### *NRM*

Ministerie van Verkeer en Waterstaat (1997), *Handboek Nieuw Regionaal Model*, Adviesdienst Verkeer en Vervoer/CROW, Rotterdam.

### *TEM*

NEA (1992), *Hoofdlijnen TEM*, Rijswijk (Z-H).

### *TIGRIS*

Hoorn, T. van der, & M. van der Vlugt (1998), "The Application of the TIGRIS Model to Randstadrail", *Transport en welvaart*, REG-publicatie 16, Rijksuniversiteit Groningen, pp. 189-200.

Ministerie van Verkeer en Waterstaat (1999), *TIGRIS-studie verstedelijkingsconcepten Leiden-Haarlem-Amsterdam*, Adviesdienst Verkeer en Vervoer/ Directoraat-Generaal Personenvervoer, Rotterdam.