

Synchroniseren van Netwerken: de Modelling, Gebruik, Governance en Ontwerp van Supernetwerken

Eric Molin

Technische Universiteit Delft (TUD)¹

Theo Arentze

Technische Universiteit Eindhoven (TUE)

Wendy Bohte

Technische Universiteit Delft (TUD)

Caspar Chorus

Technische Universiteit Delft (TUD)

Karel Martens

Radboud Universiteit Nijmegen (RUN)

1. Inleiding²

Bereikbaarheid wordt door beleidsmakers en transportplanners nog vaak gedefinieerd in termen van de aanwezigheid van files en de gevolgen daarvan. Onder deze opvatting beperkt het beleid zich vaak tot uitbreidingen van de weginfrastructuur, waarmee beoogd wordt files te bestrijden en zo de bereikbaarheid te verbeteren. Er zijn echter grenzen aan het uitvoeren van dit beleid, onder andere vanwege de ruimte die wegwitbreidingen in beslag nemen, maatschappelijke weerstand, en de benodigde financiële middelen. Bovendien werkt deze oplossing dikwijls slechts tijdelijk omdat wegwitbreidingen nieuw verkeer aantrekken. Verder is er in deze opvatting van bereikbaarheid geen aandacht voor de factoren die verplaatsingen veroorzaken, dat wil zeggen de wens om activiteiten uit te voeren op andere locatie. In de ruimere definities van bereikbaarheid, die vaak worden gehanteerd in de wetenschappelijke literatuur, is hier wel aandacht voor. Geurs en van Wee (2005) definiëren bereikbaarheid bijvoorbeeld als de mate waarin de ruimtelijke inrichting en transportsystemen mogelijkheden bieden voor (groepen van) individuen om activiteiten en bestemmingen te bereiken door middel van een (combinatie van)

¹ P.O. Box 5015, 2600 GA, Delft, T: +31(0)152788510, F: +31(0)152782719, E: e.j.e.molin@tudelft.nl

² Naast de auteurs zijn ook de volgende onderzoekers werkzaam binnen dit programma (zij hebben als zodanig dus ook indirect bijgedragen aan de totstandkoming van dit artikel): Chao Chen (TUD), Bert van Wee (TUD), Feixiong Liao (TUE), Harry Timmermans (TUE), Sara Levy (RUN) en Rob van der Heijden (RUN).

transportmodaliteiten. In deze opvatting staat dus niet de verplaatsing centraal, maar het kunnen uitvoeren van activiteiten. Dat wil zeggen dat de bereikbaarheid zal verbeteren als het kunnen uitvoeren van allerlei activiteiten wordt vergemakkelijkt. Hierdoor komt een breder scala aan beleidsstrategieën in het vizier zowel gericht op transport systemen als op ruimtelijke inrichting. Dergelijke beleidsstrategieën zijn vaak minder gericht op uitbreiding van infrastructuur, maar meer gericht op betere benutting van bestaande systemen.

Dat er nog ruimte is voor betere benutting, is onder meer het gevolg van het feit dat de huidige netwerken voor personenmobiliteit, zoals het auto-, bus- and treinnetwerk, grotendeels los van elkaar zijn ontworpen en geoptimaliseerd. Verschillende actoren zijn verantwoordelijk voor deze netwerken en zij werken in onvoldoende mate samen om hun beleid en diensten op elkaar af te stemmen. Hierdoor worden vooral multi-modale transportmogelijkheden onderbenut, met het gevolg dat het gehele transportsysteem minder effectief is dan het zou kunnen zijn. Een ander voorbeeld is dat bij de locatiekeuze van voorzieningen (bijvoorbeeld, werklocaties, scholen, kinderdagverblijven, bioscopen, meubel/woonwinkels, ziekenhuizen, warenhuizen, supermarkten, sportcentra, etc.) te weinig rekening wordt gehouden met de bereikbaarheid via meerdere modaliteiten en met de locaties van andere voorzieningen. Zo zijn binnensteden vaak niet goed per auto bereikbaar terwijl perifere locaties meestal niet goed bereikbaar zijn per openbaar vervoer. Omdat er bij de locatiekeuze onvoldoende rekening wordt gehouden met de locaties van andere voorzieningen is het lastiger voor individuen om verschillende activiteiten te combineren binnen een enkele verplaatsingsketen. De bereikbaarheid kan dus worden verbeterd indien voorzieningen meer worden geclusterd en dichter bij multi-modale knooppunten worden gelokaliseerd.

In het onderzoeksprogramma *Synchroniseren van netwerken* wordt onderzocht hoe beleidsstrategieën die gericht zijn op het beter op elkaar afstemmen van ruimtelijke inrichting- en transportsystemen in zowel plaats en tijd de bereikbaarheid kunnen verbeteren. Deze zogenaamde synchronisatiestrategieën zijn gericht op het vergemakkelijken van de uitvoering van activiteitenprogramma's van (groepen van) individuen. Voorbeeld hiervan zijn: 1) het onderling beter verbinden van transportnetwerken voor personenmobiliteit, bijvoorbeeld door het ontwikkelen van P&R-faciliteiten en transferia; 2) het beter gebruik maken van ICT-faciliteiten zodat activiteiten zoals winkelen en werken op afstand kunnen worden uitgevoerd en multi-taken, zoals werken in de trein, mogelijk wordt; 3) het clusteren van voorzieningen en deze beter lokaliseren ten opzichte van knooppunten in het transportsysteem, zodat meerdere activiteiten in een enkele verplaatsingsketen kunnen worden gecombineerd; 4) het synchroniseren van openingstijden van deze voorzieningen met de activiteitenagenda's van individuen, zodat efficiënte verplaatsingsketens mogelijk worden.

Hoewel beleidsstrategieën gericht op een betere afstemming binnen en tussen transportnetwerken en ruimtelijke inrichting al eerder zijn geopperd en dus niet nieuw zijn, worden ze nog relatief weinig geïmplementeerd. Het ontbreekt grotendeels aan: 1) methoden om de effecten op bereikbaarheid te kunnen inschatten; 2) het inzicht in consumentengedrag t.a.v. (multi-modale) verplaatsingen en activiteitenlocaties dat daarvoor nodig is en 3) de kennis over de governancestructuren waaronder betere synchronisatie zich kan ontwikkelen. Het doel van het onderzoeksprogramma is deze kennis en inzichten te ontwikkelen, hetgeen wordt gedaan in de volgende vier deelprojecten. In het *modelleringsproject* staat de verdere ontwikkeling van de zogenaamde supernetwerkbenadering centraal om deze geschikt te maken voor bereikbaarheidsanalyse. Het *gebruikersproject* is gericht op het modeleren van het verplaatsingsgedrag van individuen voor het uitvoeren van activiteiten in complexe gesynchroniseerde ruimtelijke inrichting- en transport systemen. In het *governanceproject* wordt onderzocht onder welke governancestructuur de kans op implementatie van synchronisatiestrategieën het grootst is. Tot slot zal in het *ontwerpproject* de kennis die in deze projecten wordt ontwikkeld worden toegepast om een aantal kansrijke synchronisatiestrategieën

te ontwikkelen en te bepalen wat hun effect is op het verbeteren van bereikbaarheid.

Het doel van dit artikel is het geven van een overzicht van dit onderzoeksprogramma en de stand van zaken tot dusver. Daartoe zal in de volgende paragraaf de supernetwerkbenadering kort worden uitgelegd alsmede de definitie van bereikbaarheid die daarop is gebaseerd. In de daarop volgende paragrafen zal steeds een van de vier deelprojecten centraal staan. Voor elk project zal kort worden ingegaan op de probleemstelling, belangrijkste methoden, en reeds behaalde resultaten.

2. Supernetwerken en bereikbaarheid

In deze paragraaf zal de supernetwerkbenadering worden toegelicht en de daarop gebaseerde nieuwe maat voor bereikbaarheid. Om te begrijpen wat een supernetwerk is, moeten we eerst een goed beeld hebben van wat een netwerk is. Simpel gezegd bestaat een netwerk uit knooppunten die met lijnen zijn verbonden. In een verkeersnetwerk representeert een knooppunt een kruispunt of een op- of afrit, en een lijn de weg tussen twee kruispunten of een toegangsweg; in een railnetwerk representeert een knooppunt een station en een lijn de railverbinding tussen twee stations. Door aan elke lijn van het netwerk bepaalde waarden toe te kennen, kunnen berekeningen worden uitgevoerd op het netwerk met behulp van algoritmes. Bijvoorbeeld, indien waarden van de lijnen in het netwerk de afstanden tussen knopen weergeven, kan de kortste route tussen twee locaties worden bepaald.

Een supernetwerk kan worden gezien als een netwerk van verschillende netwerken die als lagen over elkaar heen liggen en op bepaalde knopen door verbindinglijnen met elkaar zijn verbonden. Een verbindinglijn representeert dan een overstap tussen twee modaliteitnetwerken, bijvoorbeeld de overstap tussen bus en trein op een station of de overstap tussen auto en trein op een P&R-voorziening. Deze verbindinglijn kan dan een waarde krijgen die de moeite van overstappen representeert, die door allerlei factoren kan worden bepaald, zoals tijdsverlies, fysieke en/of mentale inspanning, extra kosten, etc. Deze verschillende kostenelementen worden vaak uitgedrukt in gegeneraliseerde kosten of in nutverlies. Indien de lijnen in de onderliggende netwerken ook gegeneraliseerde kosten of nut uitdrukken van het reizen over dat deel van het netwerk, kan met een supernetwerk het kortste pad in een multi-modaal transportnetwerk worden bepaald. Het kortste pad betreft dan de multi-modale route met de laagste gegeneraliseerde kosten ofwel de route met het hoogste nut, waarbij dus rekening wordt gehouden met de moeite die overstappen kost.

Door de jaren heen zijn supernetwerken verder uitgebreid door naast transportnetwerken ook andere netwerken daarin te representeren. Zo hebben Nagurney (et al. 2001) het ICT-netwerk geïntegreerd met het transportnetwerk, waardoor het mogelijk werd telewerken en teleshoppen te representeren, dus het vervangen van verplaatsingen door het gebruik van ICT. Arentze en Timmermans (2004) hebben een uitbreiding voorgesteld waardoor ook activiteiten op locaties in supernetwerken kunnen worden gepresenteerd. Het resultaat noemen zij een 'multi-state supernetwerk'. Het uitvoeren van een activiteit op de bestemming van de trip is in deze benadering ook een link in dit netwerk. Het individu verandert niet van plaats maar van toestand: een toestand voordat de activiteit is uitgevoerd en de toestand nadat de activiteit is uitgevoerd. De taak bestaat er dan uit om een pad te vinden dat start bij huis en eindigt bij huis in de toestand waar alle activiteiten die op het programma staan van de persoon zijn uitgevoerd. Een pad tussen begin- en eindpunt representeert dan dus niet alleen de reisbewegingen maar ook het uitvoeren van activiteiten terwijl de persoon fysiek weer op dezelfde plaats is teruggekeerd (thuis). Op deze wijze kan worden meegenomen dat generaliseerde kosten van de lijnen van het netwerk afhankelijk zijn van andere beslissingen die het individu maakt. Zo zal bijvoorbeeld het nut om met de auto te reizen hoger zijn als er volle boodschappentassen moet worden vervoerd. Bovendien is het parkeren van de auto een link in het netwerk. Door deze uitbreiding van

supernetwerken kunnen er allerlei afhankelijkheden tussen het uitvoeren van activiteiten en de daarbij horende verplaatsingen in het supernetwerk worden gerepresenteerd inclusief parkeerkeuzen en activiteitenlocaties. Een pad door het 'multi-state supernetwerk' representeert dus niet alleen een verplaatsing, maar het uitvoeren van een compleet activiteitenprogramma.

Een van de doelen van dit onderzoeksprogramma is om een dergelijk 'multi-state supernetwerk' voor (een deel van) de Randstad te bouwen. We onderscheiden daarbij vier niveaus van integratie. Op het eerste niveau worden de verschillende modaliteitnetwerken geïntegreerd. Dit komt overeen met het basisconcept van supernetwerken in de transportliteratuur. Hiermee kan bijvoorbeeld worden geanalyseerd: de substitutie van autoverplaatsingen door openbaar vervoer-verplaatsingen, hoe interconnectiviteit is te verbeteren en hoe het transportsysteem meer robuust kan worden gemaakt voor grote verstoringen in een van de netwerken. Op het tweede niveau van integratie worden telecommunicatieverbindingen geïntegreerd met multi-modale transportnetwerken. Hiermee kan bijvoorbeeld de effectiviteit van telewerk- en teleshopfaciliteiten als substitutie voor verplaatsingen worden onderzocht. Op het derde niveau van integratie worden de activiteiten in tijd en ruimte van individuen met het voorgaande geïntegreerd, dus vindt de uitbreiding naar 'multi-state' supernetwerken plaats. Hiermee kan worden geanalyseerd hoe een betere afstemming tussen het ruimtelijke en het transportsysteem kan leiden tot synergie-effecten waardoor individuen dus makkelijker hun activiteitenprogramma's kunnen uitvoeren. Tot slot vindt op het vierde niveau een afstemming plaats van de paden door het supernetwerk van verschillende individuen die een gezamenlijke activiteit uitvoeren. Hierdoor kunnen locaties worden gevonden die optimaal zijn voor een groep van individuen die een gezamenlijke activiteit willen ondernemen, zoals een gezamenlijke sociale activiteit, een vergadering of een overleg. In paragraaf 3.4 zullen we nader ingegaan op de synchronisatiestrategieën die we met de supernetwerkbenadering kunnen onderzoeken.

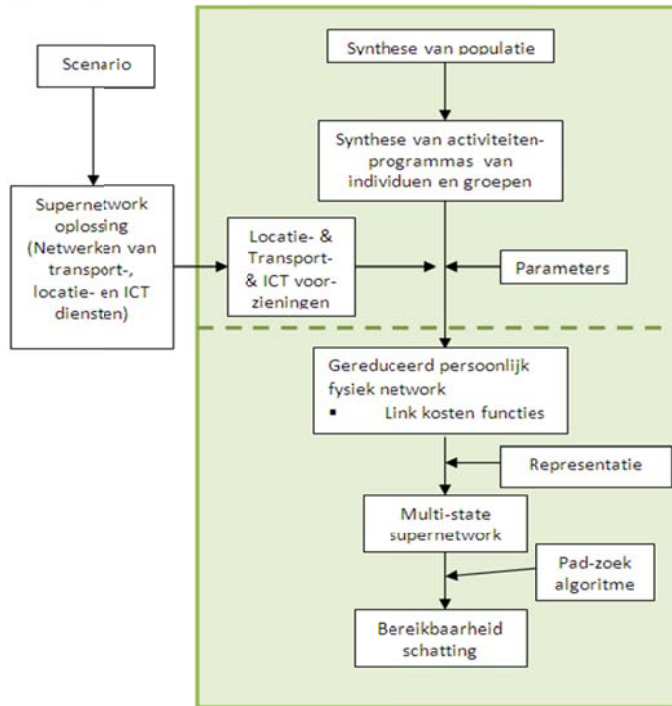
Als het Randstad-supernetwerk eenmaal klaar is kan voor elk gegeven activiteitenprogramma worden bepaald wat het kortste pad is door dat supernetwerk. Dus welke volgorde van activiteiten, locaties van activiteiten, routes en vervoerswijzen de laagste gegeneraliseerde kosten opleveren ofwel het grootste nut, gegeven de individuele voorkeuren en rekening houdend met onderlinge afhankelijkheden tussen al deze keuzes. De door ons te ontwikkelen nieuwe maat voor bereikbaarheid is hier op gebaseerd en betreft de aggregatie van kortste paden van de activiteitenprogramma's van een populatie van individuen. Bereikbaarheid van een transport-ruimtelijk systeem wordt daarmee dus gedefinieerd als de totale moeite die het kost voor een populatie van individuen om hun activiteitenprogramma's te realiseren. De supernetwerkbenadering kan zo dus worden gebruikt om te onderzoeken hoe beleid gericht op betere synchronisatie in het transport-ruimtelijk systeem de bereikbaarheid kan verbeteren. De methodologische uitdagingen die daarmee gepaard gaan zullen verder worden besproken in de paragraaf over het modelleringsproject.

3. De vier deelprojecten

3.1 Het Modelleringsproject

Met behulp van het supernetwerkmodel kunnen we een indicatie krijgen over de hoeveelheid inspanning die een activiteitenprogramma kost als een reiziger beschikbare mogelijkheden voor reizen en activiteiten zo goed mogelijk zou benutten en dat geeft ons een indicatie van bereikbaarheid. Dit klinkt recht-toe-recht-aan. Echter, activiteitenprogramma's (APs) kunnen sterk variëren van persoon tot persoon en van dag tot dag en waarin we zijn geïnteresseerd is een indicatie van de prestatie van het gebied voor alle reizigers. Figuur 1 toont schematisch de aanpak die we toepassen. De aanpak is gebaseerd op microsimulatie. Voor het Randstadgebied maken we eerst een zogenaamde synthetische populatie aan die representatief is voor de

werkelijke (of een veronderstelde toekomstige) populatie. Voor elk individu bepalen we vervolgens een AP voor een willekeurig gekozen dag dat representatief is voor die persoon gegeven zijn of haar socio-economische kenmerken, en woon- en werklocatie. Voor elke AP rekenen we vervolgens het supernetwerk door. Opgeteld over de synthetische populatie levert dat een indicator op voor de totale bereikbaarheid van de Randstad. Verschillende netwerksynchronisatiestrategieën voor het gebied kunnen zo op hun effectiviteit worden doorgerekend.



Figuur 1. Aanpak in Project 1

Het supernetwerk model is een krachtig instrument om de verandering in bereikbaarheid van netwerksynchronisatie te meten. Een moeilijkheid is echter dat het ondoenlijk is om één supernetwerk voor een gebied als de Randstad op te stellen dat alle mogelijke activiteitenprogramma's kan weergeven. Het netwerk zou simpelweg te groot zijn en onhandelbaar voor huidige computers (en zelfs voor denkbare toekomstige computers). Een cruciale stap binnen onze aanpak is dan ook de constructie van een *persoonlijk* supernetwerk, dat wil zeggen een supernetwerk dat is afgestemd op de AP en individu in kwestie. Dit biedt de mogelijkheid tot een sterke reductie. Het AP samen met de kenmerken van het individu, zoals zijn woon- en werklocatie, perken sterk het deel van het fysieke netwerk in dat relevant is. Bijvoorbeeld binnenwegen en parkeergelegenheden die niet tot de directe omgeving behoren van activiteiten- en stationslocaties die het individu zou kunnen kiezen, kunnen buiten beschouwing gelaten worden. Door nu voor elk geval opnieuw de representatie stap uit te voeren is het mogelijk om supernetwerkoplossingen te berekenen voor een gebied zo groot als de Randstad.

Hiermee zijn we er nog niet. De complexiteit neemt verder toe als we ook rekening houden met koppelingen tussen APs die ontstaan wanneer personen een gezamenlijke activiteit of een overleg plannen (bijv. voor werk). Dergelijke koppelingen leggen een randvoorwaarde op aan supernetwerkoplossingen, namelijk dat de paden van de betrokken personen samenkomen op de afgesproken plaatsen en tijden. Om rekening te houden met wat we eerder het vierde niveau van integratie hebben genoemd, rekt het model de APs die zijn gekoppeld als groep door. Daarnaast maakt het model een vereenvoudiging van de werkelijkheid: het houdt geen rekening

met capaciteitsbeperkingen van voorzieningen (wegen, parkeerplaatsen, etc.). Dat wil zeggen er is geen dynamische terugkoppeling in het model van eventuele congestie-effecten van activiteiten- en reispatronen op de keuze van APs en reisopties op een volgend tijdsmoment. Uitbreiding van het model met een dergelijke terugkoppeling zien we als een zinvol doel van vervolgonderzoek, maar is geen onderdeel van het project.

Hoewel het supernetwerk een bekende techniek is, zijn er verschillende innovaties nodig om de techniek toepasbaar te maken voor de bereikbaarheidsanalyse zoals we boven hebben beschreven (Figuur 1). Hiervan zijn de onderzoeksdoelen van het eerste project afgeleid. Concreet gaat het in het project om het ontwikkelen van de volgende methoden:

1. Een methode om te komen tot efficiënte supernetwerkrepresentaties die opschaling naar studiegebieden van de omvang van de Randstad mogelijk maakt.
2. Een methode om kostenfuncties voor transport- en transitielinks te formuleren die rekening houden met voorkeuren van reizigers voor reisopties (tijd, prijs, moeite, comfort).
3. Een geautomatiseerde methode om persoonlijke supernetwerkrepresentaties te bepalen voor individuele APs.
4. Een methode om ICT-voorzieningen zoals voor telewerken en telewinkelen op te nemen als onderdeel van een supernetwerk (het tweede niveau van integratie).
5. Een methode om paden door een supernetwerk te berekenen voor onderling gekoppelde APs (het vierde niveau van synchronisatie).
6. Een methode om een synthetische populatie van individuen, en bijbehorende APs en sociale interacties (koppelingen) te genereren, die statistisch representatief is voor het gebied.

Het project is nu het derde jaar ingegaan. De stappen die betrekking hebben op de ontwikkeling van het model zijn nu grotendeels afgerond. De resultaten zijn beschreven in een aantal wetenschappelijke papers (Liao et al. 2010a, 2010b, 2010c, 2010d). Ten eerste is een verbetering van het supernetwerkmodel op een fundamenteel niveau gerealiseerd (Liao et al. 2010a). Hierdoor is het nu mogelijk om supernetwerk representaties voor APs hanteerbaar te houden ook als deze relatief veel keuzefacetten omvatten. Ten tweede zijn heuristische methoden ontwikkeld om persoonlijke supernetwerkrepresentaties te construeren door middel van het afbakenen van keuzesets voor parkeren en activiteitenlocaties (Liao et al. 2010b). Resultaten laten zien dat de heuristiek een sterke selectie van 'links' en 'nodes' mogelijk maakt zonder dat dit het vinden van optimale paden beïnvloedt. Door deze efficiëntieverbetering is het nu mogelijk om ook voor gebieden zo groot als de Randstad het model toe te passen. Ten derde is een methode ontwikkeld om ICT-voorzieningen op activiteitenlocaties (bijv. de werkplek), overstaplocaties (bijv. station) en in voertuigen (bijv. in trein) in het model op te nemen (Liao et al. 2010c). Berekeningen laten zien dat voorzieningen zoals internetverbindingen maar ook stiltecoupés in treinen, de kosten kunnen reduceren. Een interessante bevinding is ook dat de paden die het model genereert de fragmentatie van activiteiten in plaats en tijd laat zien die in studies al empirisch is aangetoond (Couclelis 2003). Fragmentatie betekent dat een activiteit (bijv. een werkactiviteit) die voorheen aaneengesloten op één locatie werd uitgevoerd (bijv. op de werkplek) nu in episoden op verschillende locaties plaatsvindt (bijv. thuis, in de trein en werkplek). Ten vierde zijn functies voor het berekenen van gegeneraliseerde kosten van links in het supernetwerk, die rekening houden met voorkeuren en percepties van individuen, ontwikkeld en getest.

De supernetwerkbenadering maakt gebruik van nutfuncties voor modaliteiten en activiteitenlocaties. Deze zullen worden geschat op basis van geobserveerde keuzes van individuen. Dit gebeurt zowel in het laboratoriumexperiment (zie gebruikersproject) als in een grootschalig onderzoek naar verplaatsingsgedrag, welke beide op het moment van schrijven van

dit artikel worden voorbereid. In dit laatste onderzoek wordt een zeer grote groep individuen uitgerust met een GPS-transmitter waarmee alle verplaatsingen die een individu maakt in een bepaalde periode worden geregistreerd. Daarnaast worden over de gemaakte verplaatsingen en uitgevoerde activiteiten gedetailleerde gegevens achterhaald, onder meer over het gebruikte vervoermiddel, met wie is gereisd, wat men heeft vervoerd en welke activiteit is uitgevoerd, op welke locatie, en met wie en welke activiteiten op afstand met ICT zijn uitgevoerd.

3.2 *Het gebruikersproject*

Wanneer je de recente ontwikkelingen op het gebied van ICT in ogenschouw neemt, lijkt het geen twijfel of deze hebben een enorm potentieel voor wat betreft het helpen verwezenlijken van netwerksynchronisatie. Neem bijvoorbeeld reisinformatie: werd deze een jaar of tien geleden nog in rudimentaire vorm centraal aangeboden, op en langs transportinfrastructuur zoals treinstations en snelwegen, vandaag de dag hebben de meeste reizigers uiterst geavanceerde, persoonlijke informatie tot hun beschikking – waar ze ook zijn. Ze hebben hun met internet uitgeruste telefoon immers altijd bij zich. Het idee van die schijnbaar grenzeloze mogelijkheden tot synchronisatie en optimalisatie van persoonlijke mobiliteit is natuurlijk zeer aantrekkelijk voor de meeste beleidsmakers, maar er knaagt wel iets: waarom is deze potentie de afgelopen jaren eigenlijk niet allang vervuld?

Met andere woorden: waarom blijven reizigers het lastig vinden om optimaal gebruik te maken van de complementariteit van multi-modale transportnetwerken, en van de mogelijkheden die ICT biedt om ‘slimmer’ te reizen? De effecten van ICT en hun rol bij het verknopen van multi-modale transportnetwerken zijn dan wel niet verwaarloosbaar, maar ze blijven toch fors achter bij de zeer positieve verwachtingen die tot aan het begin van de 21^e eeuw het transportbeleid in Nederland en elders mede bepaalden (Europese Commissie, 2001; Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2002; Federal Transit Administration, 2003; Department for Transport, 2004). Hoe komt dit?

Er is onder wetenschappers (Chorus et al., 2006; Farag en Lyons, 2010), en in toenemende mate onder beleidsmakers (Rijkswaterstaat DVS, 2009), een groeiende consensus dat de oorzaak voor deze kloof tussen verwachtingen en realiteit niet zozeer te duiden is door te kijken naar de technologie en zijn beperkingen, maar wel door de reiziger en zijn gedrag serieus te nemen. Reizigers moeten vaak zeer complexe beslissingen nemen, en dan ook nog eens in soms zeer korte tijd. Er speelt een scala aan factoren mee, en veel van die factoren zijn dan ook nog eens onzeker. De stroom aan soms tegenstrijdige reisinformatie maakt het kiezen eerder moeilijker dan makkelijker. Geen wonder dat veel reizigers hun besluiten nemen op basis van hun eigen ervaringen, en een variëteit aan simplificerende heuristieken gebruiken om te komen tot een keuze.

Het resultaat van deze menselijke trekjes van reizigers, is dat reisinformatie vaak genegeerd wordt, en dat ‘optimale’ keuzes zelden gemaakt worden. De aanhalingstekens staan er niet voor niets, want het is wel duidelijk dat reizigers uitstekend in staat zijn om optimale keuzes te maken *in het licht van hun voorkeuren en beperkingen* (Chorus et al., 2010). Dit zijn alleen vaak niet de keuzes die beleidsmakers voor ogen hebben. Het klassieke voorbeeld is dat van de multi-modale reiziger die P&R-voorzieningen gebruikt om soepel over te stappen van auto naar trein en weer terug. Dit mag dan optimaal zijn volgens een conventioneel rekenmodel, maar hoe meer ‘gedrag’ je meeneemt in dat model, hoe minder optimaal zo’n multi-modale verplaatsing wordt. Waarom? Kort gezegd: te veel geplan, te veel gedoe en te weinig baten in de vorm van reistijdwinst.

Dit onderdeel van het onderzoeksprogramma kiest expliciet voor het gebruikersperspectief. Welke van de ‘optimale’ synchronisatiemogelijkheden die ICT en slim ruimtegebruik bieden, zijn nog steeds optimaal, wanneer je de reiziger en haar gedrag meeneemt? Specifiek richten we ons op twee aspecten van menselijk gedrag die bijna altijd over het hoofd worden gezien bij het

ontwikkelen en gebruiken van mobiliteitsmodellen: tijdsdruk en taakcomplexiteit. We stellen ons in dit project de volgende vragen: hoe kiest een reiziger die onder soms grote tijdsdruk (De trein vertrekt al bijna) een veelheid aan factoren moet afwegen (Haal ik mijn overstap wel? En waar doe ik dan de boodschappen?). Hoe kunnen we deze keuzes modelleren en uiteindelijk voorspellen, zonder dat onze modellen te complex worden om ook 'in het veld' van waarde te zijn?

Het blijkt, na uitgebreide inspectie van een groot aantal econometrische modellen, dat het zogenaamde Multinomiaal Logit-model (het standaardmodel voor het voorspellen van mobiliteitskeuzes) op relatief eenvoudige wijze kan worden aangepast, met als resultaat een keuzegedragsmodel dat rekening houdt met tijdsdruk en taakcomplexiteit. De crux zit hem erin dat de schaalfactor van de nutsfunctie, die standaard wordt genormaliseerd in de meeste mobiliteitsmodellen, afhankelijk wordt gemaakt van de context waarin de keuze wordt gemaakt. Is er veel tijdsdruk, of zijn er zeer veel (en complexe) alternatieven om tussen te kiezen, dan wordt kiezen moeilijk en komt er 'ruis op de lijn'. In ons model nemen we deze metafoor letterlijk, want onze schaalfactor (die we dus niet meer normaliseren maar juist als afhankelijke variabele gebruiken) bepaalt de grootte van de storingsterm. Hoge tijdsdruk, en complexe keuzesituaties resulteren in ons model daardoor 'automatisch' in een kleinere kans dat het beste alternatief (dat met het hoogste nut) gekozen wordt. Momenteel bouwen wij aan een interactieve computergestuurde keuzesimulator, waarmee we empirische experimenten gaan uitvoeren. De resultaten van ons gemodelleer en geëxperimenteer verwachten wij later dit jaar, en in ieder geval volgend jaar, aan u te kunnen presenteren.

Ons model, en de resultaten van ons experiment, zullen op twee manieren van nut zijn voor beleidsmakers. Ten eerste proberen wij om een aantal gedragsinhoudelijke vragen te beantwoorden omtrent tijdsdruk, taakcomplexiteit, gebruik van ICT en het maken van 'optimale' keuzes (zie hierboven). Op basis hiervan zullen wij een inschatting maken van wat de meest effectieve ICT-strategieën zijn, in het licht van de ambities van de overheid en de 'menselijke trekjes' van de reiziger. Ook zullen wij een inschatting maken van de mate waarin de in ons onderzoeksprogramma ontwikkelde synchronisatiestrategieën werkelijk zullen leiden tot de gewenste aanpassingen in het gedrag van reizigers. Ten tweede is het onze ambitie dat het ontwikkelde keuzemodel (dat dus rekening houdt met tijdsdruk en taakcomplexiteit) ingezet kan worden door collega-wetenschappers en beleidsmakers, bij het helpen doorrekenen van de mogelijke effecten van een scala aan maatregelen uit het 'beter benutten'-instrumentarium. De gedragsparameters die worden geschat in dit project zullen input vormen voor het supernetwerk model dat in het model project wordt ontwikkeld.

3.3 *Het Governanceproject*

Een hoogwaardig ruimtelijk en vervoersysteem vergt synchronisatie op vele terreinen. Dat betekent dat actoren hun strategieën en beslissingen op elkaar af moeten stemmen: overheidslagen onderling, overheden en maatschappelijke partijen, en afdelingen en diensten van één (overheids)organisatie. De mate waarin de actoren dit doen, wordt in belangrijke mate bepaald door de zogenaamde institutionele setting en bijbehorende coördinatiemechanismen, dat wil zeggen de regels die het gedrag van actoren met elkaar verknopen. Voorbeelden van dergelijke mechanismen zijn procedurele regels zoals goedkeuringsvereisten, of regels over de verdeling van verantwoordelijkheden, bevoegdheden en financiële middelen. De literatuur over de afstemming biedt een diepgaand maar veelal kwalitatief beeld van (het gebrek aan) effectiviteit van verschillende coördinatiemechanismen (zie bijvoorbeeld Stead, 2003; Sager, 2006). Het ontbreekt echter aan een systematische en formele analyse van de relatie tussen (1) coördinatiemechanismen, (2) het resulterende gedrag van de relevante actoren, en (3) de uiteindelijke ruimtelijke weerslag. Het doel van dit deelproject is om een dergelijke formele toetsing uit te voeren binnen een kunstmatige, gesimuleerde, omgeving. Het project richt zich

daarbij in het bijzonder op de afstemming tussen ruimtelijke inrichting en mobiliteit.

Het project maakt gebruik van zogenaamde agent-based of multi-agent modellen. Het kenmerkende van agent-based modellen is het feit dat elke actor in de werkelijkheid, bijvoorbeeld een huishouden, een bedrijf, of een automobilist, wordt gerepresenteerd door een *agent* in het model. Deze *agents* gaan interacties aan met andere *agents* of de lokale omgeving en creëren zo een veranderende omgeving voor alle *agents* in het model. Vanuit acties en interacties van individuele actoren, die handelen op basis van eigen preferenties en lokale kennis, ontstaan vaak stabiele patronen die niet uit de individuele acties zelf kunnen worden afgeleid. Voorbeelden waarin dit bottom-up perspectief is toegepast zijn: markten die ontstaan uit individuele transacties van vragers en aanbieders (Gilbert, 2004); en suburbanisatie die zich ontwikkelt als gevolg van de voorkeuren van huishoudens met betrekking tot stedelijke dichtheden (Zellner *et al.*, 2010)

Binnen de verkeerskunde worden agent-based modellen onder andere toegepast om dieper inzicht te verkrijgen in het ontstaan van congestie (Balmer *et al.* 2004) en voor de simulatie van de parkeerdynamiek in een (binnen)stedelijke context te simuleren (Benenson *et al.* 2008, Martens and Benenson (2008). De laatste jaren worden agent-based modellen steeds meer toegepast om vraagstukken van planning en governance te analyseren (bijvoorbeeld Li & Liu, 2007, Filatova *et al.*, 2009; Chiu & Lai, 2009). Deze modellen simuleren niet alleen het gedrag van huishoudens of bedrijven, maar ook het gedrag van governance-actoren die sturing wensen te geven aan het gedrag van die andere actoren. Deze *governance agents* verschillen van de individuele *agents* omdat ze een bepaald resultaat op macro-niveau nastreven. Het gaat dan bijvoorbeeld om het voorkomen van suburbanisatie of het beschermen van ecologisch waardevolle gebieden. Hoewel het gedrag van *governance agents* geleid wordt door ambities en preferenties op macro-niveau, betekent dit niet dat deze *agents* de acties en interacties van de individuele *agents* naar zijn hand kan zetten. Ook *governance agents* moeten interacties aangaan om hun doel te bereiken. De uiteindelijke uitkomst van die interacties is dan ook onvoorspelbaar.

Een voorbeeld is het onderzoek van Arentze en Timmermans (2003). Zij analyseren de effecten van verschillende onderhandelingsprotocollen op de locatie van winkels. Zij ontwikkelen een agent-based model waarmee het onderhandelingsproces wordt gesimuleerd tussen winkelketens en ontwikkelaars met betrekking tot de meest optimale locatie voor een nieuw (cluster van) winkels. Ontwikkelaars spelen een centrale rol; zij genereren voorstellen voor nieuwe winkelclusters, soms samen met een groep van samenwerkende winkelketens. Tevens wordt een 'planner' of 'overheid' gesimuleerd als een *agent* die uiteindelijk goedkeuring geeft aan de nieuwe locaties die door een ontwikkelaar worden voorgesteld. Het model laat zien dat verschillende onderhandelingsprotocollen leiden tot andere allianties tussen winkelketens onderling en winkelketens en ontwikkelaars, en uiteindelijk tot andere ruimtelijke patronen.

In navolging van deze en andere studies is het doel van dit project om op systematische wijze in kaart te brengen in hoeverre coördinatiemechanismen effect hebben op de mate van integratie. Kan een institutionele setting worden geïdentificeerd die onder verschillende omstandigheden leidt tot een relatief hoge mate van integratie? Bij een positief antwoord op deze vraag kan de studie een belangrijke bijdrage leveren aan de wijze waarop in Nederland de relatie tussen governance van ruimte en governance van mobiliteit wordt vormgegeven.

Het project zal stapsgewijs worden opgezet, waarbij de complexiteit van de coördinatie of synchronisatie steeds zal toenemen. In eerste instantie zal een model worden ontwikkeld waarmee de betrekkelijk eenvoudige situatie kan worden geanalyseerd van lokale overheden die met elkaar concurreren om het binnen halen van kantoorontwikkeling. In het model kunnen de gemeenten ontwikkelaars overtuigen om te kiezen voor hun gemeente door het aanbieden van aantrekkelijke locatie en door het bieden van extra voorzieningen, zoals meer groen, parkeerplaatsen of infrastructuur. Met behulp van het model zullen twee onderwerpen aan een

analyse worden onderworpen. Op de eerste plaats zal worden nagegaan of verschillende coördinatiemechanismen effect hebben op de mate van afstemming tussen de gemeenten. De situatie van concurrentie zonder aanvullende coördinatiemechanismen zal worden vergeleken met een aantal andere scenario's, waarin gemeenten bijvoorbeeld de revenuen van kantoorontwikkeling delen, gemeenten informatie met elkaar uitwisselen over preferenties van ontwikkelaars, of gemeenten hun middelen bundelen om extra voorziening te kunnen bieden. Ook zal worden geanalyseerd wat het effect is van een regionale overheid in elk van deze situaties. Op de tweede plaats zal worden nagegaan wat de effecten zijn van de verschillende coördinatiemechanismen op de uiteindelijke locatie van de kantoorontwikkeling.

In latere modellen zullen gecompliceerdere situaties worden gesimuleerd. Het gaat dan om afstemming tussen een bredere set van actoren, waarbij het aantal trade-offs complexer is en meer geavanceerde coördinatiemechanismen kunnen worden gesimuleerd. Cruciaal is bijvoorbeeld de stap naar een situatie waarin overheidslagen worden uiteengelegd in verschillende afdelingen, die elk op basis van eigen doelstellingen en preferenties uitkomsten trachten te optimaliseren. In de simulaties zal de nadruk liggen op de trade-off tussen ruimtelijke ontwikkelingen en investeringen in infrastructuur. De centrale vraag daarbij is op welke wijze beiden beter met elkaar kunnen worden verknoot zodat een meer duurzame stedelijke ontwikkeling kan worden gerealiseerd.

Momenteel wordt het eerste tranche-model ontwikkeld. Naar verwachting zullen de eerste resultaten van de simulaties met dit model medio 2011 beschikbaar zijn. Deze resultaten zullen een eerste inzicht geven in de mate waarin regionale afstemming top-down, via een regionale autoriteit, of ook bottom-up, door het vastleggen van procedureregels tussen gemeenten onderling, kan worden gerealiseerd. De tweede tranche van modellen, waarvan de resultaten medio 2012 worden verwacht, zal vervolgens een meer diepgaand inzicht bieden in de mogelijke effecten van verschillende coördinatiemechanismen op de afstemming tussen ruimte en infrastructuur.

3.4 *Het ontwerpproject*

Het nationale mobiliteitsbeleid is steeds meer gericht op het versterken van stedelijke netwerken en minder op het uitbreiden van de capaciteit van transportinfrastructuur. De verschillende plannen en visies over mobiliteit in de Randstad laten zien dat om de bereikbaarheid te verbeteren vaak wordt ingezet op het beter op elkaar afstemmen in tijd en ruimte van transportnetwerken en activiteitenlocaties. Stedelijke netwerken worden versterkt door het concentreren van wonen, werken en voorzieningen rond knooppunten van openbaar vervoer en snelwegen en het verbeteren van de aansluiting binnen de modaliteiten (onderliggend wegennet-hoofdwegennet, intercity's-sprinters-regionaal OV) en tussen de verschillende systemen (zie ondermeer: Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2008; OV-bureau Randstad, 2010; Rijksoverheid en het Bestuurlijk Platform Zuidvleugel, 2010). In het Nieuwe Actieplan 'Groeit op het Spoor' van het Ministerie van Infrastructuur en Milieu wordt ondermeer ingezet op het verder verbeteren van aansluitingen tussen trein en auto en trein en fiets door het aanleggen en verbeteren van P&R-locaties en fietsenstallingen op stations. Ook wil het ministerie verder gaan met het bevorderen van spreiding in werk-, school- en openingstijden, zodat er meer buiten de spits gereisd gaat worden. De doelen in beleidsnotities zijn echter meestal op geaggregeerd niveau geformuleerd. Het ontwerpproject is er vooral op gericht om de beleidsstrategieën die hierbij aansluiten een empirische basis te geven gebaseerd op het onderliggende individuele reisgedrag.

Dit project selecteert eerst kansrijke synchronisatiestrategieën en onderzoekt daarna het effect van deze strategieën op het gemak waarmee individuen hun activiteitenpatroon kunnen uitvoeren met behulp van het supernetwerkmodel uit het modelleringsproject. Daarnaast zal bij de selectie van strategieën rekening worden gehouden met de uitkomsten van het

governanceproject en het gebruikersproject. De ontwerpstrategieën die binnen dit project bestudeerd worden, zijn gericht op afstemming in tijd en/of ruimte en tussen modaliteiten en/of activiteitenlocaties. Afstemming in ruimte is niet beperkt tot het aanpassen van fysieke ruimte, maar omvat ook het beter benutten van ICT-voorzieningen voor telecommunicatie. De enorme ontwikkeling van de informatie- en communicatietechnologie heeft er voor gezorgd dat door het gebruik van ICT-toepassingen als telewerken, video-conferencing, teleshoppen en sociale media, het uitvoeren van activiteiten in toenemende mate tijd- en plaatsafhankelijk kan zijn.

De te onderzoeken synchronisatiestrategieën kunnen in zes dimensies worden ingedeeld. Strategieën kunnen uit één dimensie bestaan, maar ook uit twee of meerdere van de volgende dimensies:

1. Ruimtelijke afstemming tussen modaliteiten onderling, door het verbeteren van ruimtelijke links tussen transportnetwerken (bijvoorbeeld meer P&R-voorzieningen bij stations).
2. Temporele afstemming tussen modaliteiten onderling, door het verbeteren van temporele links tussen transportnetwerken (bijvoorbeeld afstemming van aankomst- en vertrektijden van verschillende aanbieders van openbaar vervoer).
3. Ruimtelijke afstemming tussen activiteitenlocaties onderling, door het verbeteren van ruimtelijke links tussen activiteitenlocaties (bijvoorbeeld kinderopvang op kantoor of webwinkels die mogelijk maken dat mensen vanuit huis kunnen winkelen).
4. Temporele afstemming tussen activiteitenlocaties onderling, door het verbeteren van temporele links tussen activiteitenlocaties (bijvoorbeeld gemeenteloket of tandarts na reguliere kantooruren).
5. Ruimtelijke afstemming tussen activiteitenlocaties en modaliteiten, door het verbeteren van ruimtelijke links tussen activiteitenlocaties en transportnetwerken (bijvoorbeeld supermarkten of vergaderlocaties in de buurt van stations of het aanbieden van internettoegang in treinen, waardoor mensen online kunnen werken of sociale contacten onderhouden terwijl ze reizen).
6. Temporele afstemming tussen activiteitenlocaties en modaliteiten, door het verbeteren van temporele links tussen activiteitenlocaties en transportnetwerken (bijvoorbeeld flexibele werktijden en daardoor woon-werkreis buiten de spits).

In de eerste fase van het ontwerpproject zal een selectie worden gemaakt van synchronisatiestrategieën, waarvan verwacht wordt dat ze de bereikbaarheid in de Randstad positief kunnen beïnvloeden. Deze selectie wordt gebaseerd op zowel huidig beleid en beleidsvisies als op nieuwe ideeën. Om tot een keuze te komen, worden gesprekken gevoerd met beleidsmakers, vervoersaanbieders en andere belangrijke actoren en worden beleidsdocumenten geanalyseerd. Tevens is een eerste Group Decision Room-bijeenkomst (GDR) gehouden met betrokken actoren en experts, waarin deelnemers via aan elkaar gekoppelde laptops anoniem op elkaars ideeën kunnen reageren. Uit de tot nu toe gehouden gesprekken en GDR-sessie komen vooral strategieën naar voren die aansluiten bij het huidige mobiliteitsbeleid: OV-knooppunten moeten verder ontwikkeld worden, mobiliteitsbeleid moet integraal en gebiedsgericht worden ontwikkeld en daarnaast wordt verwacht dat de verdere ontwikkeling van mobiliteitsmanagement in de vorm van 'Het Nieuwe Werken' een positief effect op de bereikbaarheid zal hebben. Vanwege de flexibiliteit van de fiets, de populariteit van de OV-fiets en de opkomst van de elektrische fiets, wordt ook het beter faciliteren van fietsgebruik vaak genoemd als kansrijke strategie.

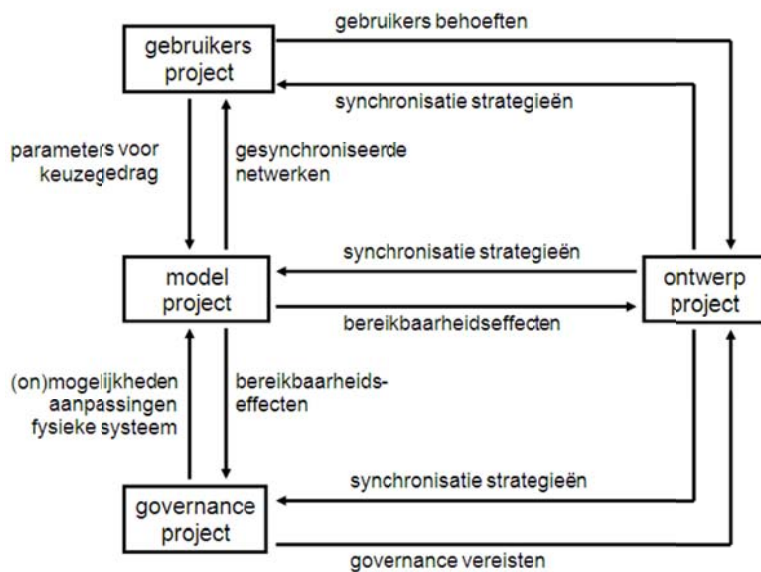
In de tweede fase van het project zal van de geselecteerde strategieën met behulp van het in het modelleringsproject ontwikkelde supernetwerkmodel worden nagegaan in hoeverre deze in staat zijn de bereikbaarheid te verbeteren. Er bestaat al veel wetenschappelijke literatuur over het

effect van synchronisatiestrategieën als OV-knooppuntontwikkeling (Bertolini & Spit, 1998; Bruinsma et al., 2008) en het gebruik van ICT-toepassingen op verplaatsingsgedrag (Schwanen et al., 2008), echter door het supernetwerkmodel te gebruiken om verschillende scenario's door te rekenen kunnen effecten op een nieuwe integrale manier geanalyseerd en gerepresenteerd worden. Het ontwikkelde model biedt inzicht in de wijze waarop effecten van strategieën tot stand komen of door welke oorzaken beoogde effecten juist uitblijven. Door het vergelijken van gegenereerde paden voor een aantal goed gekozen individuele activiteitenprogramma's tussen een scenario en de baseline, laat het model zien op welke manieren synchronisatievoordelen bereikt kunnen worden onder welke condities en voor welke groepen van de bevolking. Dit helpt beleidsmakers om een visie te vormen over de mogelijkheden en onmogelijkheden van synchronisatievoordelen, die niet alleen is onderbouwd met cijfers maar ook met een beeld of 'storyline' van het onderliggend gedrag van reizigers.

4. Tot slot

In dit paper is een onderzoeksprogramma gepresenteerd dat is gericht op het onderzoeken van beleidsstrategieën die de potentie hebben om de bereikbaarheid te verbeteren. Deze strategieën zijn vooral gericht op betere benutting van het bestaande en meer specifiek op betere afstemmingen binnen en tussen diverse transportnetwerken, activiteitenlocaties en ICT-voorzieningen in zowel plaats en tijd. Onderzocht wordt hoe deze synchronisatiestrategieën de bereikbaarheid kunnen verbeteren, uitgedrukt in het gemak waarmee (groepen van) individuen hun activiteitenprogramma kunnen uitvoeren. Diverse voorbeelden van synchronisatiestrategieën zijn in dit artikel gegeven.

Om de bereikbaarheidseffecten te kunnen onderzoeken, wordt in het *modelleringsproject* een supernetwerkmodel ontwikkeld. Dit model geeft vooral inzicht in de potentiële bereikbaarheidseffecten van ingrepen in het transport-ruimtelijk systeem. In het *gebruikersproject* wordt onderzocht of al die potenties wel worden waargemaakt als je meer rekening houdt met de beperkingen in het gedrag van de reizigers, waarbij vooral wordt gekeken naar de effecten van tijdsdruk en complexiteit op de gemaakte keuzes. Daarnaast zullen de parameters van de modellen die in dit project worden geschat input vormen voor het supernetwerkmodel. Met de verkregen inzichten in het gebruikersproject hopen we nog realistischere voorspellingen te kunnen doen op basis van het supernetwerkmodel. Waar het model- en gebruikersproject vooral gericht zijn op het modelleren van het reizigersgedrag en de bereikbaarheidseffecten van synchronisatiestrategieën, richt het *governanceproject* zich meer op de condities waaronder betere synchronisatie kan ontstaan. Meer specifiek wordt onderzocht onder welke alternatieve coördinatiemechanismen diverse actoren meer met elkaar gaan samenwerken zodat de gewenste synergie effecten op macro-niveau kunnen ontstaan. Tot slot worden de modellen en inzichten die in deze drie projecten worden ontwikkeld, toegepast in het *ontwerpproject*. In dit project worden eerst kansrijke synchronisatiestrategieën ontwikkeld, waarbij rekening wordt gehouden met de gebruikers en governancevereisten. Vervolgens wordt voor (een deel van) de Randstad op basis van het supernetwerkmodel de bereikbaarheidseffecten bepaald. De relaties tussen de vier projecten zijn weergegeven in Figuur 2.



Figuur 2. Relaties tussen de deelprojecten

De benadering zoals gehanteerd in dit onderzoeksprogramma is vooral gericht op bereikbaarheidseffecten op de korte termijn. We onderzoeken immers het gemak waarmee bestaande activiteitenprogramma's kunnen worden uitgevoerd. Dit geeft ook aan dat onze benadering niet dynamisch is in de zin dat er terugkoppelingseffecten worden meegenomen in de modellen zelf. Al eerder is aangegeven dat geen rekening wordt gehouden met capaciteitsbeperkingen (met files als gevolg) die kunnen ontstaan, indien de gegenereerde activiteitenprogramma's worden geïmplementeerd. Uiteraard kunnen wel capaciteitsbeperkingen worden meegenomen door deze te baseren op historische data over filevorming op bepaalde wegen en bepaalde tijden door de gegeneraliseerde kosten van de overeenkomstige links in het netwerk te verhogen. Verder wordt in de aanpak ook geen terugkoppelingseffecten meegenomen die verbeterde bereikbaarheid kan hebben op het genereren van activiteitenprogramma's. We zijn ons er van bewust dat als het makkelijker wordt om activiteitenprogramma's uit te voeren, individuen mogelijk meer activiteiten aan hun programma gaan toevoegen of een meer geprefereerde, maar verder weg gelegen woonlocatie kiezen, met mogelijk weer gevolgen voor de bereikbaarheid. Het toevoegen van deze dynamiek aan het model zien we als een mooie uitdaging voor vervolgonderzoek, maar maakt nu geen deel uit van het programma. Voordat dit soort dynamische modellen kunnen worden ontwikkeld, zal eerst de voorgestelde aanpak in dit onderzoeksprogramma helemaal moeten worden ontwikkeld. En dat is al een hele stap voorwaarts.

Referenties

Arentze, T., en H. Timmermans (2003). A multiagent model of negotiation processes between multiple actors in urban developments: A framework for and results of numerical experiments. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 30(3), 391-410.

Arentze, T.A., en H.J.P. Timmermans (2004). A multi-state supernetwork approach to modeling multi-activity, multi-modal trip chains. *International Journal of Geographical Information Science*, 18, 631-651.

Balmer, M., K. Nagel, en B. Raney (2004). Large-scale multi-agent simulations for transportation

applications. *Journal of Intelligent Transportation Systems*, 8(4), 205-221.

Benenson, I., K. Martens, en F. Birfir (2008). PARKAGENT: An agent-based model of parking in the city. *Computers, Environment and Urban Systems*, 32(6), 431-439.

Bertolini, L., en T. Spit (1998). *Cities on Rails. The Redevelopment of Railway Station Areas*. London and New York: Spon/Routledge.

Bruinsma, F., H. Priemus, P. Rietveld, en B. Van Wee (eds.) (2008). *Railway development. Impacts on urban dynamics*. Heidelberg: Physica Verlag.

Chiu, C.-P., en S.-K. Lai (2009). An experimental comparison of negotiation strategies for siting nimby facilities, *Environment and Planning B: Planning and Design*, 36(6), 956-967.

Chorus, C.G., Molin, E.J.E., van Wee, G.P., Arentze, T.A., en Timmermans, H.J.P. (2006). Het effect van OV-informatie op vervoerswijzekeuzes van automobilisten: modellen en simulaties op basis van spijt-minimalisatie. *Tijdschrift Vervoerswetenschap*, 42(4), 10-15.

Chorus, C.G., Walker, J.L., en Ben-Akiva, M.E. (2010). The value of travel information: A search-theoretic approach. *Journal of Intelligent Transportation Systems*, 14(3), 154-165.

Couclelis, H. (2003). Housing and the new geography of accessibility in the information age. *Open House International*, 28(4), 7-13.

Commission of the European Communities (2001). *European transport policy for 2020: Time to decide*. Luxembourg, Luxembourg.

Department for Transport (2004). *The future of transport: A network for 2030*. London, UK.

Farag, S., en Lyons, G. (2010). Explaining public transport information use when a car is available: Attitude theory empirically investigated. *Transportation*, 37(6), 897-913.

Federal Transit Administration (2003). *Customer preferences for transit ATIS: Research report nr. FTA-OH-26-7015-2003.1*. Washington, DC, United States.

Filatova T., D. Parker, en A. van der Veen (2009). Agent-based urban land markets: Agent's pricing behavior, land prices and urban land use change. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 12(1), pp. 3.

Geurs, K.T., en B. van Wee (2004). Accessibility evaluation of land-use and transport strategies review and research directions. *Journal of Transport Geography*, 12, 127-140.

Gilbert N. (2004). Agent based social simulation: Dealing with complexity. Online document at URL <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.109.4004&rep=rep1&type=pdf>.

Li, X., en X. Liu (2007). Defining agents' behaviors to simulate complex residential development using multicriteria evaluation. *Journal of Environmental Management*, 85(4), 1063-1075.

Liao, F., T.A. Arentze, en H.J.P. Timmermans (2010a). Supernetwork approach for multimodal and multi-activity travel planning. *Transportation Research Record*, nr. 2175, 38-46.

Liao, F., T.A. Arentze, en H.J.P. Timmermans (2010b). Supernetwork representation of activity-travel programs, transport, land, use and ICT. In: *Proceedings of the HKSTS Annual Conference*, Hong Kong, China.

Liao, F., T.A. Arentze, en H.J.P. Timmermans (2010c). Modeling movement patterns across multiple colliding worlds. In: *Proceedings of the Bi-Annual Design and Decision Support Systems Conference*, Eindhoven, the Netherlands (CD-Rom, 20 pp.)

Liao, F., T.A. Arentze, en H.J.P. Timmermans (2010d). A heuristic approach for constructing personalized transportation networks: A supernetwork approach. *International Journal of Geographic Information Systems*, To appear.

Martens, K., en I. Benenson (2008). Evaluating urban parking policies with agent-based model of driver parking behavior. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, nr. 2046, 37-44.

Ministerie van Verkeer en Waterstaat (2002). *De markt voor multi-modaal personenvervoer*. Rijkswaterstaat, Rotterdam.

Ministerie van Verkeer en Waterstaat (2008). *MobiliteitsAanpak, Vlot en veilig van deur tot deur*. Den Haag.

Nagurney, A., J. Dong, en P.L. Moktharian (2001). Teleshopping versus shopping: A multi-criteria equilibrium framework. *Mathematical and Computer Modelling*, 34, 738-798.

OV-bureau Randstad (2010). *Randstadnet 2028, de belofte aan de reiziger*. Samplonius & Samplonius, Berkel en Rodenrijs.

Rijkswaterstaat DVS (2009). *De effecten van multimodale reisinformatie: Rapportage van een literatuurverkenning en een expertmeeting*. Rijkswaterstaat, Delft (auteurs: Matthijs Dicke, Paul van Beek, Caspar Chorus).

Rijksoverheid en het Bestuurlijk Platform Zuidvleugel (2010). *Gebiedsagenda Zuidvleugel/Zuid-Holland, een wereldregio*, Den Haag.

Sager, F. (2006). Policy coordination in the European metropolis: A meta-analysis. *West European Politics*, 29(3), 433-460.

Schwanen, T., Dijst, M., en Kwan, M.-P. (2008). ICTs and the uncoupling of activities, places and times. *TESG Journal of Economic and Social Geography*, 99(5), 519-527.

Stead, D. (2003). Transport and land-use planning policy: Really joined up? *International Social Science Journal*, 55(2), 333-347.

Zellner M. L., R.L. Riolo, W. Rand, D.G. Brown, S.E. Page, en L.E. Fernandez (2010). The problem with zoning: Nonlinear effects of interactions between location preferences and externalities on land use and utility. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 37(3), 408-428.