

TNO-rapport**TNO 2013 R10413****FOUNTAIN (Framework fOr Upscaling
Transitions And INnovations): doelstellingen,
achtergronden en ontwikkelperspectief**

Gecombineerd werkverslag 2012 van ETP Assessment and
Governance of Complex Systems en ETP Mobility

**Behavioural and Societal
Sciences**
Van Mourik Broekmanweg 6
2628 XE Delft
Postbus 49
2600 AA Delft

www.tno.nl

T +31 88 866 30 00
F +31 88 866 30 10
infodesk@tno.nl

Datum 19 maart 2013

Auteur(s) Roald Suurs
Martin van de Lindt
Bob van der Vecht
Peter van Scheepstal
Laurens Clignett
Eline Jonkers

Exemplaarnummer

Oplage

Aantal pagina's 48 (incl. bijlagen)

Aantal bijlagen 1

Opdrachtgever ETP

Projectnaam Framework fOr Upscaling Transitions And INnovations

Projectnummer 042.01028 en 042.01022

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, foto-kopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor opdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belang-hebbenden is toegestaan.

© 2013 TNO

Inhoudsopgave

1	Inleiding	5
1.1	Achtergrond en doel algemeen	5
1.2	Doelstellingen en aanpak 2012	6
1.3	Leeswijzer	7
2	Achtergronden en overwegingen	9
2.1	Inleiding	9
2.2	Maatschappelijke vraagstukken en systeemdenken	9
2.3	Simulatie van maatschappelijke vraagstukken als hulpmiddel	10
2.4	Mogelijkheden Agent Based Modeling (ABM)	11
3	Conceptueel model FOUNTAIN	15
3.1	Inleiding	15
3.2	Het Nieuwe Rijden in het kader van transitiedenken	15
3.3	Het Nieuwe Rijden en Agent Based Modeling	18
4	Ontwikkeling prototype FOUNTAIN	23
4.1	Inleiding	23
4.2	Vervoeromgeving en vervoersysteem	24
4.3	Privé omgeving	27
4.4	Werkomgeving	27
4.5	Gedrag (Commuting Agent Based Model)	28
4.6	Van model naar simulatie	31
4.7	Eerste resultaten	32
4.8	Conclusie	39
5	Doorkijk naar het vervolg	41
5.1	Samenvatting	41
5.2	Voortgang in 2013	42
5.3	Naar een generieke aanpak	43
	Bijlage 1: Overzicht geraadpleegde literatuur	47

1 Inleiding

1.1 Achtergrond en doel algemeen

De voorliggende werkrapportage is het resultaat van de gezamenlijke in 2012 uitgevoerde werkzaamheden binnen de meerjarige Enabling Technology Programma's (ETP) *Assessment and Governance of Complex Systems*, kortweg *Macro* genoemd, en *Mobiliteit*. Beide maken deel uit van het overkoepelende ETP *Gedrag en Innovatie*.

Het algemene doel van het ETP Macro is om kennis, inzichten en methoden te ontwikkelen teneinde een bijdrage te kunnen leveren aan het oplossen van complexe (maatschappelijke) vraagstukken. Deze zijn het gevolg van het feit dat we tegen de grenzen van een aantal maatschappelijke systemen aanlopen. Een bekend voorbeeld vormt natuurlijk ons mobiliteitssysteem waarin we dagelijks met de symptomen worden geconfronteerd: files, gebrekkige bereikbaarheid, CO₂ uitstoot, vertragingen op het spoor, discussies rond de uitbreiding van Schiphol, etc. Incrementele oplossingen alleen zijn niet langer voldoende. Meer en meer vat de overtuiging post dat radicale veranderingen, aangeduid als transities of systeeminnovaties, noodzakelijk zijn. Gedragsverandering van alle betrokken actoren (bedrijven, consumenten, overheden, kennisinstellingen) vormt één van de belangrijkste pijlers om tot dergelijke veranderingen te komen. Het ETP Mobiliteit wil dan ook inzicht verkrijgen in de determinanten en de (on) mogelijkheden om mobiliteitsgedrag te beïnvloeden. Een belangrijke rol hiervoor is weggelegd voor pilots en experimenten op het gebied van mobiliteit.

Deze doelstellingen vormen de basis voor de samenwerking tussen beide ETP's en meer specifiek tussen het Werkpakket 1 van het ETP Macro en het werkpakket 1 van het ETP Mobiliteit. Het eerstgenoemde werkpakket heeft tot doel methoden en technieken te ontwikkelen om complexe vraagstukken te doorgronden teneinde actoren te kunnen ondersteunen bij het zoeken naar oplossingen ervan. Het werkpakket van het ETP Mobiliteit richt zich op het inzicht krijgen in determinanten die (de opschaling van) veranderingen in mobiliteitsgedrag bepalen.

In 2011 is gekozen is gekozen voor een specifieke gezamenlijke inhoudelijke focus op Het Nieuwe Reizen (HNR), ook wel Slim Werken Slim Reizen genoemd. Het HNR concept draait om het realiseren van een gedragsverandering bij werknemers. Het gaat dan om 'reizen op andere momenten' (buiten de spits), flexibel kiezen voor andere locaties (thuis of op een alternatieve locatie), flexibel kiezen voor andere vervoersmodaliteiten of andere routes. Gedragsverandering zal dan uiteindelijk moeten leiden tot minder voertuigverliesuren, minder milieudruk en hogere opbrengsten voor het bedrijfsleven.

Hoewel de werknemer vaak het uitgangspunt is bij het proberen te beïnvloeden van mobiliteitsgedrag is het vraagstuk geenszins hiertoe beperkt. Immers, de (on)mogelijkheden voor gedragsverandering liggen ook bijvoorbeeld in zijn sociale omgeving, werkomgeving en -omstandigheden, de wet- en regelgeving, het vervoerssysteem, etc., en worden bovendien beïnvloed door maatschappelijke ontwikkelingen zoals bijvoorbeeld de opkomst van de informatietechnologie, individualisering, vergrijzing, economische ontwikkelingen, enz. Kortom, het is een

ingewikkeld vraagstuk waarbij veel actoren betrokken zijn en zeker niet vooraf bekend is welke interventies leiden tot welke gedragsverandering en met welke snelheid zich eventuele gedragsveranderingen voltrekken.

Hiervan afgeleid worden de doelstellingen van de samenwerking tussen beide ETP's als volgt omschreven:

- Inzicht verkrijgen in de complexiteit van het HNR-vraagstuk, zowel op systeemniveau als op individueel gedragsniveau
- Inzicht bieden in de relatie(s) tussen individueel gedrag (keuzes van automobilisten) en systeemkenmerken (congestie, milieudruk, etc.)
- Handelingsperspectief bieden: welke interventies in het systeem werken?

Benadrukt moet worden dat deze doelstellingen in feite tussendoelen zijn. De HNR-studie is namelijk bedoeld als case om op basis hiervan beter inzicht te krijgen in de processen achter gedragsverandering en opschaling van initiatieven die kunnen bijdragen aan de oplossing van complexe vraagstukken op verschillende maatschappelijke domeinen.

1.2 Doelstellingen en aanpak 2012

In 2011 heeft de nadruk van de werkzaamheden vooral gelegen op het in kaart brengen van de belangrijke determinanten en relaties ertussen om het systeem rondom HNR inzichtelijk te maken. Dit is gedaan met het TNO-instrument MARVEL (zie werkverslag 2011 en hoofdstuk 3 van het voorliggende werkverslag).

De werkzaamheden in 2012 hadden als doel de verbinding te leggen tussen het 'systeemniveau' en het niveau van individueel gedrag. De insteek was om een conceptueel model (FOUNTAIN: **F**ramework **f**Or **U**pscaling **T**ransitions **A**nd **I**Nnovations) te ontwikkelen dat beide niveaus omvat. Bovendien was het de bedoeling dat het model laat zien hoe systeemverandering als gevolg van gedragsverandering tot stand komt als consequentie(s) van specifieke interventies door stakeholders op verschillende niveaus.

Om aan deze doelstellingen te voldoen zijn de volgende werkzaamheden uitgevoerd:

1. **Systeemverkenning HNR.** Hierin wordt een integraal overzicht van de relevante factoren van het HNR-vraagstuk gegeven, grotendeels op basis van eerder TNO-onderzoek. De verkenning leidde tot enkele belangrijke vragen. Deze zijn niet goed te beantwoorden met bekende benaderingswijzen en vormden daarom aanleiding voor het ontwikkelen van FOUNTAIN.
2. **Literatuurstudie model-technieken.** De literatuurstudie had als doel om de meest passende benaderingswijze voor het FOUNTAIN-model te kiezen. Het accent lag daarbij op de mogelijkheid gedragsmodellen te koppelen aan systeemmodellen.
3. **Ontwikkelen prototype FOUNTAIN.** Tijdens deze stap is een eerste versie van het model ontwikkeld en toegepast op de HNR case.
4. **Ontwikkeling generieke inzichten.** Gedurende de werkzaamheden is gereflecteerd op de meer algemene implicaties van het ontwikkelde gedachtegoed. Dit met oog op de bredere doelstelling om een dergelijk model en de inzichten ook voor andere domeinen dan mobiliteit in te kunnen zetten.

1.3 Leeswijzer

De voorliggende werkrapportage geeft een verslag van deze stappen en beschrijft bijbehorende resultaten. Hoofdstuk 2 geeft een overzicht van achtergronden en overwegingen op basis van de literatuurstudie (stap 1 en 2). In hoofdstuk 3 wordt beschreven welke stappen doorlopen zijn gedurende de conceptuele fase van het ontwikkelen van FOUNTAIN. In het daarop volgende hoofdstuk wordt uiteengezet hoe het tussenmodel van FOUNTAIN er eind 2012 uitziet en welke resultaten hieruit voortkomen (stap 3). Tevens gaat dit vierde hoofdstuk in op de generieke inzichten, omdat doel van het project is om tot een algemeen conceptueel denkkader en aanpak voor dit type vraagstukken te komen (stap 4). Het vijfde hoofdstuk bevat een reflectie op de bereikte resultaten, evenals een doorkijk naar te verwachten resultaten voor 2013 en 2014.

2 Achtergronden en overwegingen

2.1 Inleiding

De achterliggende doelstelling van de samenwerking tussen de in de inleiding genoemde ETP-projecten is het kunnen begrijpen en beïnvloeden van menselijk gedrag in relatie tot complexe maatschappelijke vraagstukken. Maar wat is nu zo bijzonder aan deze vraag dat het antwoord niet al gegeven is? En wat maakt dat we met onze benaderingswijze dichterbij dit antwoord gaan komen? In dit hoofdstuk gaan we in op deze vraag op basis van een uitgebreid literatuuronderzoek. Het hoofdstuk is gestructureerd aan de hand van de belangrijkste vragen die we onszelf tijdens onze werkzaamheden voortdurend gesteld hebben.

2.2 Maatschappelijke vraagstukken en systeemdenken

In paragraaf 1.1 is mobiliteit als voorbeeld genoemd van een maatschappelijk systeem dat op een zodanige manier tegen de grenzen aanloopt dat vele mensen er dagelijks de problemen van ondervinden. Andere bekende voorbeelden zijn: de landbouw (varkenspest, Q-koorts, dierenwelzijn, megastallen), de bouwsector (tijd- en budgetoverschrijdingen, fraude, op slot zittende woningmarkt, niet-duurzame bouwmaterialen, prijsvorming), de gezondheidszorg (bijna niet beheersbare kosten, langs elkaar heen werkende instanties, wildgroei van aanbieders) en de energiesector (CO₂ uitstoot, voorzieningszekerheid, afhankelijkheid van buitenland, veiligheid).

Het is dan ook niet verwonderlijk dat steeds meer maatschappelijke actoren (bedrijven, consumenten, beleidsmakers, bestuurders, kennisinstellingen) menen dat ingrijpende en fundamentele veranderingen (transities, systeemveranderingen) noodzakelijk zijn om de problemen in de betreffende maatschappelijke systemen het hoofd te kunnen bieden.

Zo'n transitie is bepaald geen sinecure. Het is in feite een proces dat nauwelijks controleerbaar is en waarvan de uitkomsten derhalve niet of nauwelijks te voorspellen zijn. Immers, een dergelijk veranderingsproces beslaat meerdere maatschappelijke domeinen, er zijn vele actoren bij betrokken, elk met verschillende doelstellingen, belangen, handelingsperspectieven en ideeën over mogelijke oplossingen. Een transitie is dan ook een langdurig proces. Daar komt bij dat een transitie alleen tot stand kan komen door een goede wisselwerking tussen ontwikkelingen op verschillende maatschappelijke niveaus. Van grote maatschappelijke trends (macro-niveau), bijvoorbeeld vergrijzing, opkomst ICT, internationalisering, etc. tot kleinschalige innovaties en pilots (niche-niveau), bijvoorbeeld Het Nieuwe Reizen, Buurtzorg, Stadslandbouw, etc. die afwijken van onze dagelijkse routines en structuren, zoals wet- en regelgeving, instituties en markten (mainstream, regime-niveau). Vaak gaat dit gepaard met nieuwe (combinaties van) actoren, veranderende werkwijzen, andere rollen, etc. Al met al is een transitie niet alleen een langdurig, maar ook een complex proces.

De vraagstukken waar het om gaat laten zich niet isoleren tot deelproblemen en vragen om een integrale benadering. Een manier om hier handen en voeten aan te geven is het zogenoemde systeemdenken: het beschouwen van een vraagstuk in

de brede en relevante context. Wat het systeem dan precies is en waar het ophoudt, is voor elk vraagstuk anders en is ook perspectief afhankelijk. Deze vraag is dus doorgaans niet eenvoudig te beantwoorden en vormt onderwerp van analyse en discussie. Wat wel helder is, is dat dit soort systemen complex gedrag vertonen. Daarom spreken we ook wel van Complexe Adaptieve Systemen (CAS). Het denken in termen van complexe adaptieve systemen heeft met name een vlucht genomen met de oprichting van het Santa Fé instituut in Nieuw Mexico in de VS begin jaren '80. Dit denken vormt een goed startpunt om de complexiteit van systemen te begrijpen en als basis voor sturing te hanteren. We zien dan ook een sterke opkomst van de toepassing ervan in de biologie, economie, ecologie, bestuurs-, bedrijfs- en organisatiekunde en beleidsanalyse.

Een CAS wordt omschreven als een samenhangend stelsel van componenten (actoren, wetten, regels, relaties, instituties, infrastructuren, etc.) dat zich in een bepaalde richting ontwikkelt door een wisselwerking tussen het systeem en de maatschappelijke omgeving. Kernbegrippen hierin zijn: co-evolutie, emergentie en zelforganisatie. Co-evolutie geeft aan dat het systeem co-evolveert met zijn omgeving (die ook weer uit complexe, adaptieve systemen bestaat), waarbij zowel competitie als coöperatie een rol spelen. Emergentie is het 'spontaan' ontstaan van patronen in het systeem van binnenuit en zelforganisatie is het vermogen van het systeem om tot een nieuwe ordening te komen als gevolg van de interne constitutie van het systeem. Een ander belangrijk kenmerk van een CAS zijn de positieve en negatieve relaties die een versterkend dan wel dempend effect op de ontwikkelingen binnen en van het systeem kunnen hebben.

Juist door de vele componenten en de aard en de effecten van de relaties kunnen zo op het oog kleine veranderingen onvoorspelbare en grote gevolgen op systeemniveau hebben. Dit wordt aangeduid als het "butterfly effect". Tot slot is 'pad-afhankelijkheid' een essentieel kenmerk van een complex adaptief systeem. Pad-afhankelijkheid wil zeggen dat de ontwikkelingsgeschiedenis van een systeem de 'systeemtoestand' bepaalt en dat er omslagpunten (treshholds, tipping points) zijn die deze toestand doen veranderen. In termen van innovatie wordt wel gesproken van doorbraakinnovaties: innovaties die een omslag (transities) in een bepaald systeem tot gevolg hebben. Voor verdere informatie over de verschillende begrippen verwijzen we naar o.a. Priogine en Stengers (1984), Holling (1987), Loorbach (2007), De Haan en Rotmans (2011) en Van de Lindt en Scheepstal (2011).

2.3 Simulatie van maatschappelijke vraagstukken als hulpmiddel

Met de complexiteitstheorie als startpunt is het mogelijk om de geschetste vraagstukken beter te begrijpen. Er zijn allerlei concepten en onderzoeksmethoden die, op basis van uitgangspunten als pad-afhankelijkheid, zelforganisatie, positieve en negatieve relaties, opschaling, etc. een bijdrage kunnen leveren aan het begrijpen van de reikwijdte en complexiteit van maatschappelijke vraagstukken. Voorbeelden zijn 'Strategisch Niche Management', 'Transitietheorie', Innovatiesysteemtheorie, Resilience-theorie, Evolutionaire Economie, etc.

Een bijzondere benaderingswijze is het simuleren van complexe maatschappelijke systemen. Het idee bij dit soort simulaties is het 'nabouwen van (een stukje van) de werkelijkheid' door middel van een model om uiteindelijk het betreffende systeem

beter te kunnen begrijpen. Dergelijke modellen kunnen een beschrijvende, verklarende en soms zelfs een voorspellende functie hebben. In het kader van complexe systemen is het bovendien interessant dat het met een simulatiemodel mogelijk is om te 'spelen' met diverse input-variabelen, of zelfs met de mechanismen in het model. Op deze wijze kan de fundamentele onzekerheid die gepaard gaat met complexiteit worden geadresseerd door rekening te houden met diverse aannamen en/of scenario's. Afhankelijk van het doel van het model zijn er diverse simulatietechnieken voorhanden.

Een overzicht hiervan is te vinden in het werk van Emile Chappin (2011). Hij maakt onderscheid de volgende typen modellen: Econometrics / scenario-analysis, Computational General Equilibrium, System Dynamics, Discrete Event Simulation, Agent Based Modeling

Voor het ontwikkelen van FOUNTAIN is gebruik gemaakt van System Dynamics (SD) en Agent Based Modeling (ABM). SD is in 2011 gebruikt om inzicht te krijgen in alle relevante aspecten van Het Nieuwe Reizen en leverde als het ware een tussenmodel op, waarmee bijvoorbeeld verschillende scenario's op systeemniveau konden worden doorgerekend (zie werkverslag 2011 en hoofdstuk 3). Het was echter niet mogelijk via SD het gedrag van reizigers (en andere actoren), zogenoemde 'agents', op bevredigende wijze te simuleren. Met behulp van ABM is dit wel mogelijk en kan een relatie worden gelegd tussen het gedrag op individueel niveau en op systeemniveau.

2.4 Mogelijkheden Agent Based Modeling (ABM)

Agent Based Modeling (ABM) is een methode om een complex systeem te beschrijven en te analyseren. Met ABM wordt een model geconstrueerd dat de relatie legt tussen gedrag op individueel niveau en observeerbare symptomen op organisatie- of populatieniveau. Analyses met het model bieden inzicht in emergente aspecten (spontaan ontstaan van patronen in het systeem) die ontstaan uit interacties van individuen.

ABM is bijzonder geschikt voor het modelleren van systemen waar feedback-mechanismen voor complexe dynamiek zorgen. Deze feedback-mechanismen maken het namelijk zeer moeilijk – zo niet onmogelijk - om een deterministisch rekenkundig model te maken. Een mooie illustratie hiervan is het El Farol-vraagstuk (zie box.) Dit voorbeeld laat zien dat rekenkundige voorspellingen niet goed in staat zijn om complexe sociale dynamiek te helpen begrijpen.

The **El Farol bar problem** is a problem in game theory. Based on a bar in Santa Fe, New Mexico, it was created in 1994 by W. Brian Arthur. The problem is as follows: There is a particular, finite population of people. Every Thursday night, all of these people want to go to the El Farol Bar. However, the El Farol is quite small, and it's no fun to go there if it's too crowded. So much so, in fact, that the preferences of the population can be described as follows:

- If **less than 60%** of the population go to the bar, they'll all have a better time than if they stayed at home.
- If **more than 60%** of the population go to the bar, they'll all have a *worse* time than if they stayed at home.

Unfortunately, it is necessary for everyone to decide *at the same time* whether they will go to the bar or not. They cannot wait and see how many others go on a particular Thursday before deciding to go themselves on that Thursday. One aspect of the problem is that, no matter what method each person uses to decide if they will go to the bar or not, if *everyone* uses the same pure strategy it is guaranteed to fail. If everyone uses the same deterministic method, then if that method suggests that the bar will not be crowded, everyone will go, and thus it *will* be crowded; likewise, if that method suggests that the bar will be crowded, nobody will go, and thus it will *not* be crowded.

http://en.wikipedia.org/wiki/El_Farol_Bar_problem

In de uiteenzetting van Chappin (2011) wordt duidelijk dat ABM bij uitstek interessant is als het gaat om het modelleren van complexe systemen. Het idee van ABM is juist om modellen te maken die complexiteit niet uit de weg gaan maar aangrijpen. In de woorden van Emile Chappin zelf: *“Zo proberen we complexiteit na te bouwen. We weten dan dat het niet perfect is maar krijgen wel inzicht in de vorm van patronen / mechanismen / bandbreedtes van onzekerheden. Het is dus meer verkennen dan voorspellen”*.

ABM is interessant als simulatietechniek omdat het ons in staat stelt om de complexiteit die inherent is aan transitieprocessen te vertalen naar relatief eenvoudige modellen. ABM is bruikbaar om te onderzoeken hoe gedragsregels op individu-niveau, leiden tot complexe dynamiek op 'systeem'-niveau. Door als het ware te spelen met deze regels wordt inzicht in en gevoel voor de invloed ervan op de mechanismen en systeemdynamiek verkregen.

Voorspellen in klassieke zin is zeker niet de belangrijkste functie van ABM. Dit vormt geen beperking van de techniek maar is een eigenschap van de complexe systemen die we met de methodiek beter willen begrijpen (zie hierboven). Uitkomsten en verloop van lange-termijn transitieprocessen laten zich niet vangen in een lineair optimalisatie vraagstuk. Het is wel zo dat hoe meer data we in het model stoppen, hoe meer de resultaten tot concrete voorspellingen kunnen leiden. Met de juiste data en een gevalideerd model is het dan bijvoorbeeld mogelijk om voor de komende twee jaar een redelijke voorspelling doen over zoiets als het verloop van een CO₂-prijs. Het is dus mogelijk om patronen en bandbreedtes te laten zien. De invloed van interventies is te relateren aan verschuivingen in patronen / bandbreedtes.

Uit een van Chappin's simulatiemodellen komt dat het heffen van een CO₂-belasting aanzienlijk beter en goedkoper werkt bij het verminderen van de CO₂-uitstoot van Europese bedrijven dan het Europese handelssysteem voor emissierechten. Chappin trekt deze conclusie op basis van onder meer beslissingen van investeerders en van energiebedrijven. Investeerders hebben meer baat bij een vaste dan een flexibele CO₂-prijs en energiebedrijven kiezen voor de lange termijn voor de lage kosten van kolen. De resultaten waren aanleiding voor aanbevelingen om het huidige systeem te verbeteren, zoals het instellen van een minimumprijs op de CO₂-markt of een aanvullende CO₂-belasting. Chappin voedde een ander model met kennis over consumentengedrag bij de aanschaf van energiezuinige verlichting. Hieruit bleek onder meer dat op de langere termijn minder Led-verlichting werd gekocht als er in de beginfase een subsidie voor was. Door de subsidie kochten naar verhouding veel mensen de eerste generatielampen. Kinderziektes zorgden voor een sterk negatief imago en daardoor nam de verkoop af, ook al werd de technologie beter. De simulatiemodellen van Chappin maken voor politici, beleidsmedewerkers, bedrijven, ingenieurs en consumenten inzichtelijk welke gevolgen hun keuzes voor de energietransitie kunnen hebben. (TU Delft, Persbericht 14 juni 2011)

Gelet op het voorgaande zijn de volgende kenmerken van de ABM-benadering in het bijzonder relevant voor de focus van het verdere verloop van het ETP project op ABM-technieken:

- De meeste ABM-modellen zijn flexibel en het is daardoor relatief eenvoudig om te spelen met aannames. Dit is belangrijk want de beslisregels van agents worden doorgaans bepaald op basis van inschattingen van stakeholders.
- ABM werkt doordat het mogelijk is te spelen met aannames als interactieve discussie-tool. Vaak leiden bepaalde aannames op actor-niveau tot tegen-intuïtieve resultaten op systeemniveau. Dit kan, aan de hand van visualisaties, worden bediscussieerd en aangepast.
- Als het ABM-model klaar is, is het van belang om de inzichten die daaruit ontstaan door te vertalen naar belanghebbenden / beleidsmakers. Als eindresultaat is een dergelijk proces / inzicht in veel gevallen belangrijker dan het model. Hiertoe kan bijvoorbeeld gebruikt worden gemaakt van 'serious gaming' –technieken.

3 Conceptueel model FOUNTAIN

3.1 Inleiding

Dit hoofdstuk gaat in op de ontwikkeling van het conceptuele FOUNTAIN model. Hiertoe wordt in paragraaf 3.2 kort teruggekeken naar stappen die in 2011 zijn gezet. Deze vormen namelijk de basis voor de ontwikkeling van het conceptuele FOUNTAIN model in 2012, wat in paragraaf 3.3 wordt beschreven.

3.2 Het Nieuwe Rijden in het kader van transitiedenken

Met de ontwikkeling van FOUNTAIN is begonnen in 2011. De inzet was daarbij meteen al om een opschalingsmodel te ontwikkelen rondom het vraagstuk van Het Nieuwe Reizen (Slim Werken, Slim Reizen). Het HNR concept draait om het realiseren van een gedragsverandering bij werknemers. Het gaat dan om 'reizen op andere momenten' (buiten de spits), flexibel kiezen voor andere locaties (thuis of op een alternatieve locatie), flexibel kiezen voor andere vervoersmodaliteiten of andere routes. Gedragsverandering zal dan uiteindelijk moeten leiden tot minder reistijd, minder milieudruk en hogere opbrengsten voor het bedrijfsleven.

Duidelijk is dat de beoogde gedragsverandering van werknemers niet alleen zal afhangen van beschikbare faciliteiten en informatie. De werkgever speelt eveneens een cruciale rol waar het gaat om het mogelijk maken van flexibel werken. Daar komt bij dat zowel de werkgever als de werknemer gebonden zijn aan wet- en regelgeving. Kortom, we hebben te maken met een complex systeem. De eerste vraag is dus: hoe ziet dit systeem er uit en welke factoren bepalen of de één of andere HNR-aanpak een blijvende gedragsverandering zal introduceren die zal doorwerken op systeemniveau?

Gekozen is voor een aanpak waarbij op basis van input van meerdere disciplines het vraagstuk integraal in kaart wordt gebracht. TNO heeft hiervoor de zogenaamde MARVEL-tool ontwikkeld. De MARVEL-benadering biedt (Van Zijderveld, 2007):

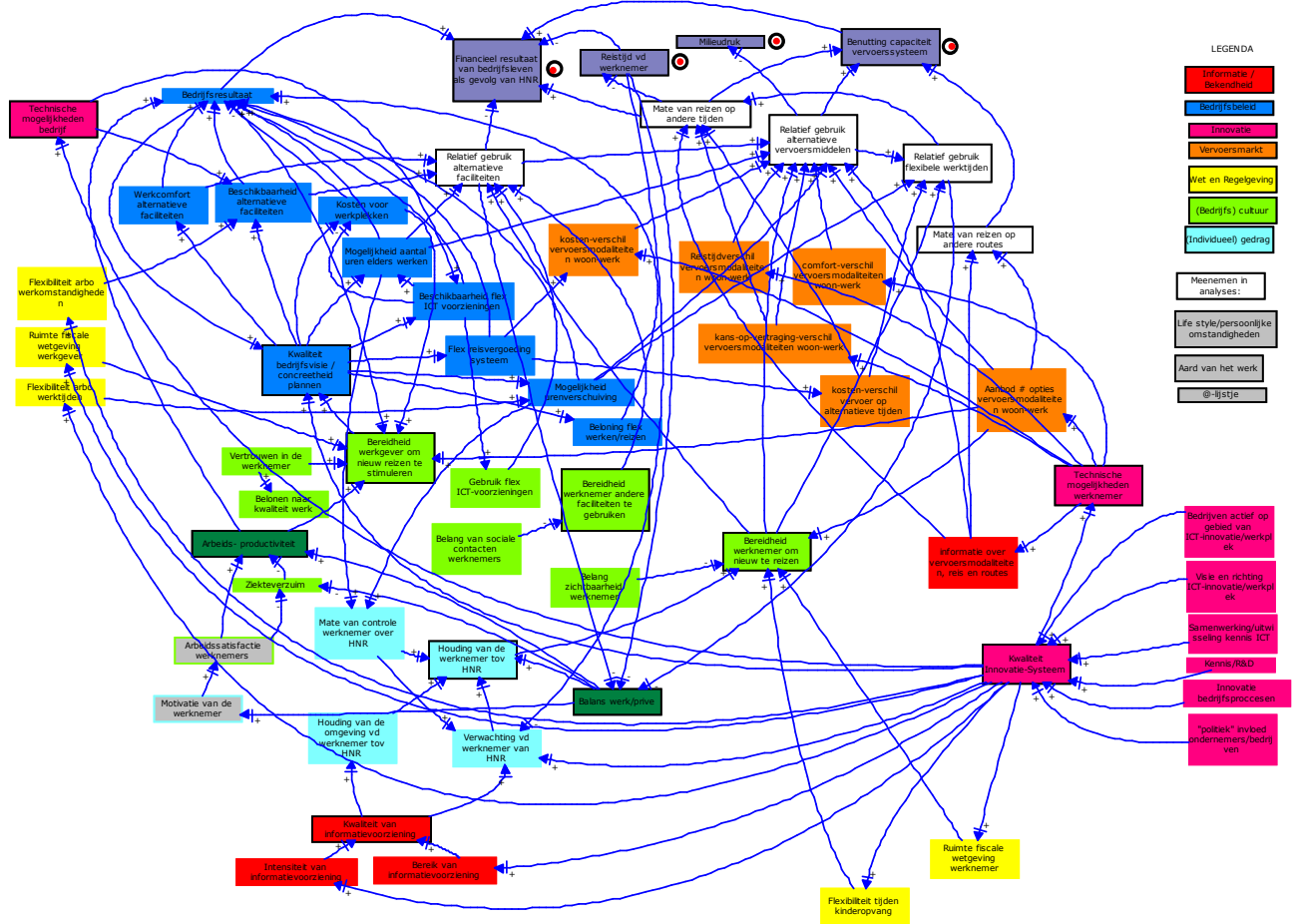
- Integraal perspectief in een zeer complex vraagstuk
- Participatief combineren van inzichten van diverse stakeholders en experts
- Visueel sterke representatie van een complex vraagstuk
- Mogelijkheid om interventies en hun effecten in te schatten

Voor wat betreft HNR zijn met behulp van MARVEL de volgende stappen doorlopen:

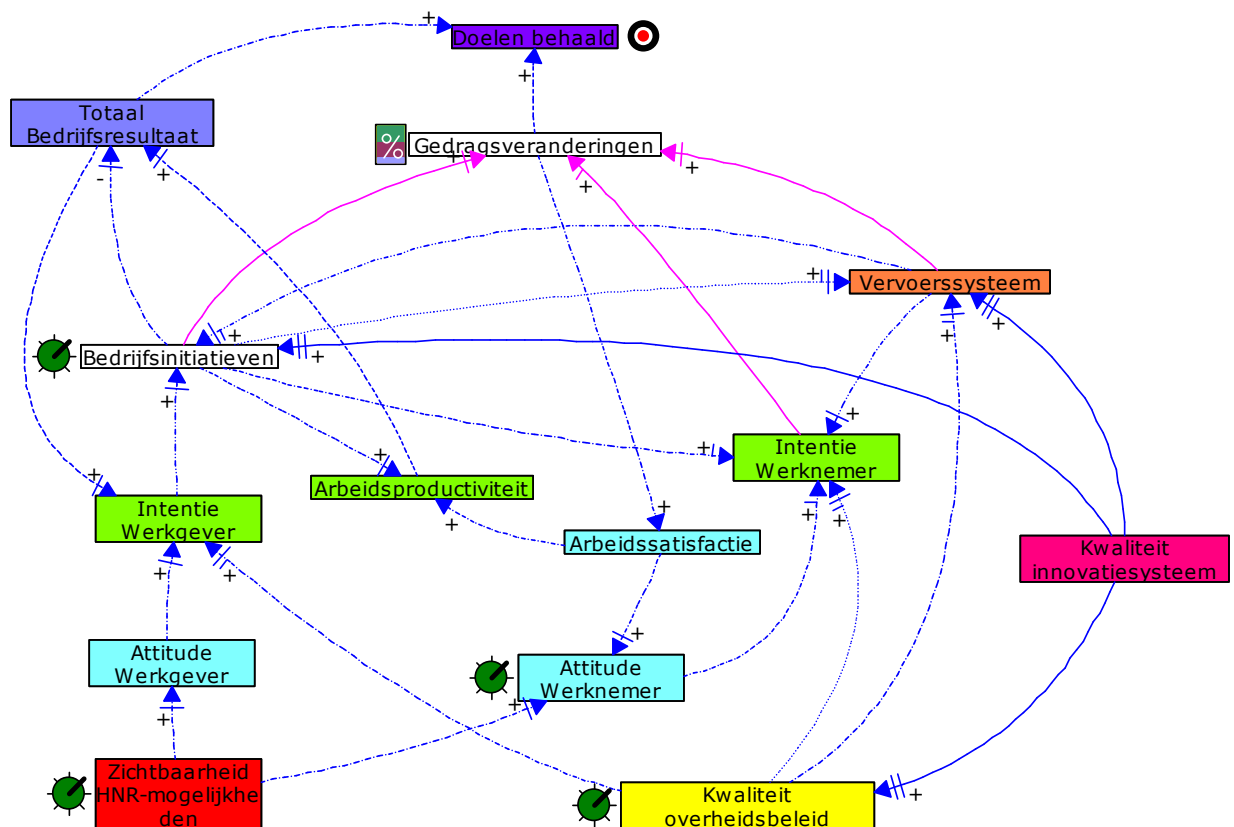
1. Formuleren van doelvariabelen in het kader van HNR
2. Formuleren van relevante invloedsfactoren in relatie tot de doelvariabelen
3. Clusteren van invloedsfactoren
4. Specificeren en kwantificeren van relaties tussen factoren

Ieder van deze stappen wordt uitgevoerd in een interactieve omgeving, waardoor stakeholders en inhoudelijke experts rechtstreeks meebeslissen over de inhoud. Op basis van deze input is voor de HNR-case een systeem-dynamisch model gebouwd dat overzicht biedt van relevante aspecten van het probleem. Onderstaande figuren geven een overzicht (in complexe en vereenvoudigde vorm) van de

geïdentificeerde variabelen. Voor een nadere beschrijving wordt verwezen naar Van de Lindt en Scheepstal (2011).



Figuur 1a: Visualisatie m.b.v. MARVEL van het complexe adaptieve systeem rond HNR



Figuur 1b: Visualisatie van het Complexe Adaptieve Systeem rondom het HNR-vraagstuk, in vereenvoudigde vorm.

De figuren laten zien dat het bij flexibel reizen en werken niet alleen gaat om het gedrag van de werknemer in relatie tot het vervoerssysteem, maar ook om de werkgever, de zichtbaarheid van bestaande mogelijkheden, de kwaliteit van het overheidsbeleid, etc.

Met behulp van deze systeem-dynamische benadering is het vraagstuk rondom HNR ontleed in causale relaties. Voor ieder van deze relaties is geschat of deze positief of negatief is en of deze zwak, gemiddeld of sterk is. Bovendien zijn er schattingen gemaakt over het verloop in de tijd. Overheidsbeleid kan bijvoorbeeld een sterke positieve invloed hebben op de intentie van een werkgever ten opzichte van flexwerk-maatregelen. Het zal doorgaans echter eerder jaren dan maanden duren alvorens een dergelijk effect is gerealiseerd.

Ondanks deze inzichten is eind 2011 besloten het model op systeem niveau niet verder door te ontwikkelen om de transitie naar een andere manier van reizen en werken te kunnen begrijpen. De belangrijkste reden hiervoor was dat het systeem dynamisch model uitgaat van "gemiddeld gedrag" van actoren op verschillende niveaus: overheid, werkgevers en werknemers. Om een transitie beter te begrijpen, is echter inzicht in de wisselwerking tussen individueel en systeemgedrag van belang. Hierbij is het kunnen onderscheiden van verschillende doelgroepen

noodzakelijk. Daarnaast bleek het niet of nauwelijks mogelijk de geografische aspecten van de transitie naar het Nieuwe Reizen in beeld te brengen.

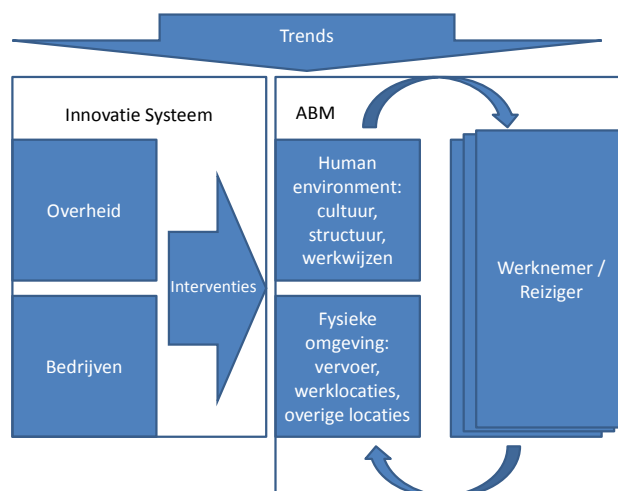
3.3 Het Nieuwe Rijden en Agent Based Modeling

In 2012 was het dan ook de uitdaging om, met als vertrekpunt het bovenstaande model, te zoeken naar een simulatietechniek die het mogelijk maakt om de volgende elementen te vatten:

- Begrip van gedrag op individueel / doelgroep niveau
- Specifieke interventies relateren aan doelgroep-specifieke uitkomsten
- Koppeling van individueel gedrag met systeemgedrag
- Inzicht verkrijgen in de mechanismen achter transities in het algemeen en een transitie naar een andere manier van werken en reizen in het bijzonder

Op basis van de inzichten die beschreven zijn in het vorige hoofdstuk en de voorgaande paragraaf is besloten om te kiezen voor een ABM-benadering. Een ABM-simulatie stelt ons in staat om gedrag van actoren in het model te brengen en dit te relateren aan relevante factoren op systeemniveau. Hierdoor kan er op doelgroep niveau worden gemodelleerd (bijvoorbeeld voorlopers en achterblijvers) waardoor het fenomeen opschaling beter begrepen en gemodelleerd kan worden. Nu variabelen niet langer op één niveau zijn gedefinieerd (zoals in MARVEL het geval was) is het van belang om de visualisatie zoals weergegeven in figuur 1 te vertalen naar een doorsnede van het systeem waarbinnen zowel het individu als de systeemcontext zichtbaar wordt.

Figuur 2 geeft een visualisatie van dit startpunt. Aan de rechterkant van dit schema vinden we de 'gedrags-loop'. Iedere werknemer / reiziger in het model doorloopt dagelijks deze loop. Afhankelijk van de fysieke omgeving (locatie, technische mogelijkheden, verkeerssituatie) en de 'human environment' (thuisituatie, werkgever) kiest de werknemer iedere ochtend voor een bepaalde bestemming, modaliteit en vertrektijd. Afhankelijk van hoe alle individuele ervaringen 'optellen' zal een bepaald gedrag op systeemniveau zichtbaar worden. In deze case zijn dit vooral de congestiepatronen in het verkeer. Dit systeemgedrag beïnvloedt eigenschappen van de fysieke en menselijke omgeving, en daarmee het individuele gedrag.



Figuur 2: Conceptueel model FOUNTAIN

Aan de linkerkant van het schema zien we het zogenaamde innovatiesysteem (zie onderstaande box). Dit onderdeel van het model omvat relevante factoren (zoals regelgeving en technologische innovatie) die de gedrags-loop kunnen beïnvloeden, maar die op zichzelf niet beïnvloed worden door de gedrags-loop.

Idealiter zouden we deze exogene (macro-)factoren onderdeel maken van de gedrags-loop, bijvoorbeeld door beslissingen van werkgevers afhankelijk te maken van ontwikkelingen in de fysieke / menselijke omgeving. Op dit moment is dit een brug te ver maar deze uitbreidingsmogelijkheid maakt ABM wel bijzonder aantrekkelijk voor het modelleren van complexe systemen.

Innovatiesysteem

Het innovatiesysteem bestaat uit een aantal functies aan de hand waarvan kan worden beschreven in hoeverre er mogelijkheden zijn om innovaties te kunnen opschalen van een niche niveau naar mainstream niveau. Deze functies, ook wel motoren, genoemd beïnvloeden dus het gedrag van de actoren op de verschillende systeemniveaus en elkaar. Zo vergroot de opkomst van de smartphone technologie de mogelijkheden van reizigers zich vroegtijdig te informeren over reistijden, vertragingen, etc, maar moeten de betrokken actoren wel de relevante diensten leveren. Is dit het geval dan is er een markt om de informatiediensten op deze wijze verder door te ontwikkelen en/of te verbeteren. Binnen een innovatiesysteem worden de volgende motoren onderscheiden: ondernemersactiviteiten, kennisontwikkeling, kennisdiffusie, ontwikkelingspaden, marktontwikkeling, middelen en lobby (vrij naar Suurs (2009))

Overigens zullen er altijd exogene factoren overblijven vanwege de reden dat ieder systeem weer onderdeel is van een groter systeem. Bovendien is het van belang om rekening te houden met maatschappelijke trends die doorwerken op het systeem, op alle niveaus.

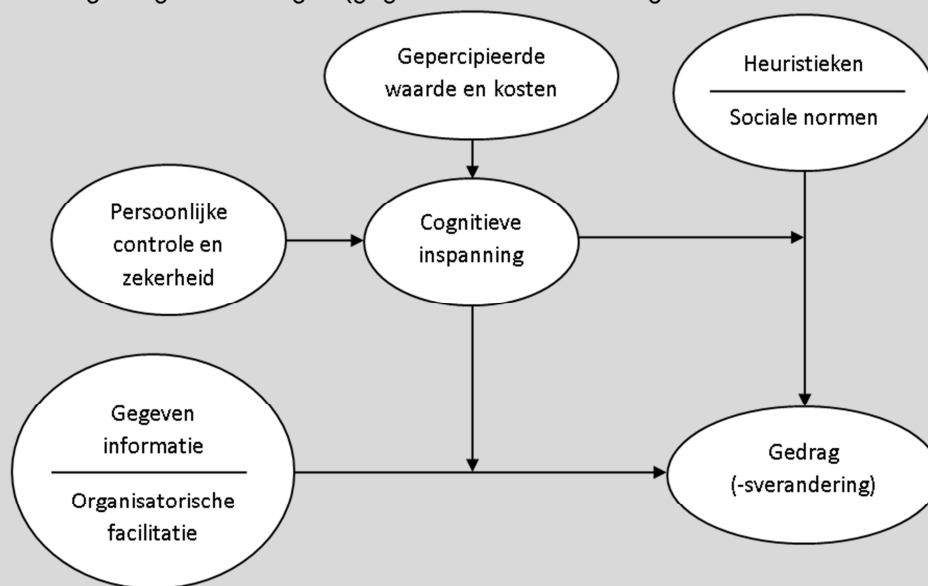
De wisselwerking tussen individueel gedrag (micro) en systeemkenmerken van de omgeving (meso) ligt besloten in de 'gedrags-loop'. Het begrijpen en modelleren van deze loop is vooral van belang voor ons ABM-model omdat hier de complexe interacties gemodelleerd gaan worden waarin we geïnteresseerd zijn. Zie onderstaande box. In het volgende hoofdstuk wordt dit verder vormgegeven.

Gedragsdeterminanten

Door diverse TNO experts is een inventarisatie gemaakt van gedragsdeterminanten van mobiliteitsgedrag. Dit is gedaan op basis van eigen expertise, literatuur en onderzoeksrapporten. De focus ligt op bereikbaarheid, woon-werkverkeer, spitsverkeer en wegverkeer.

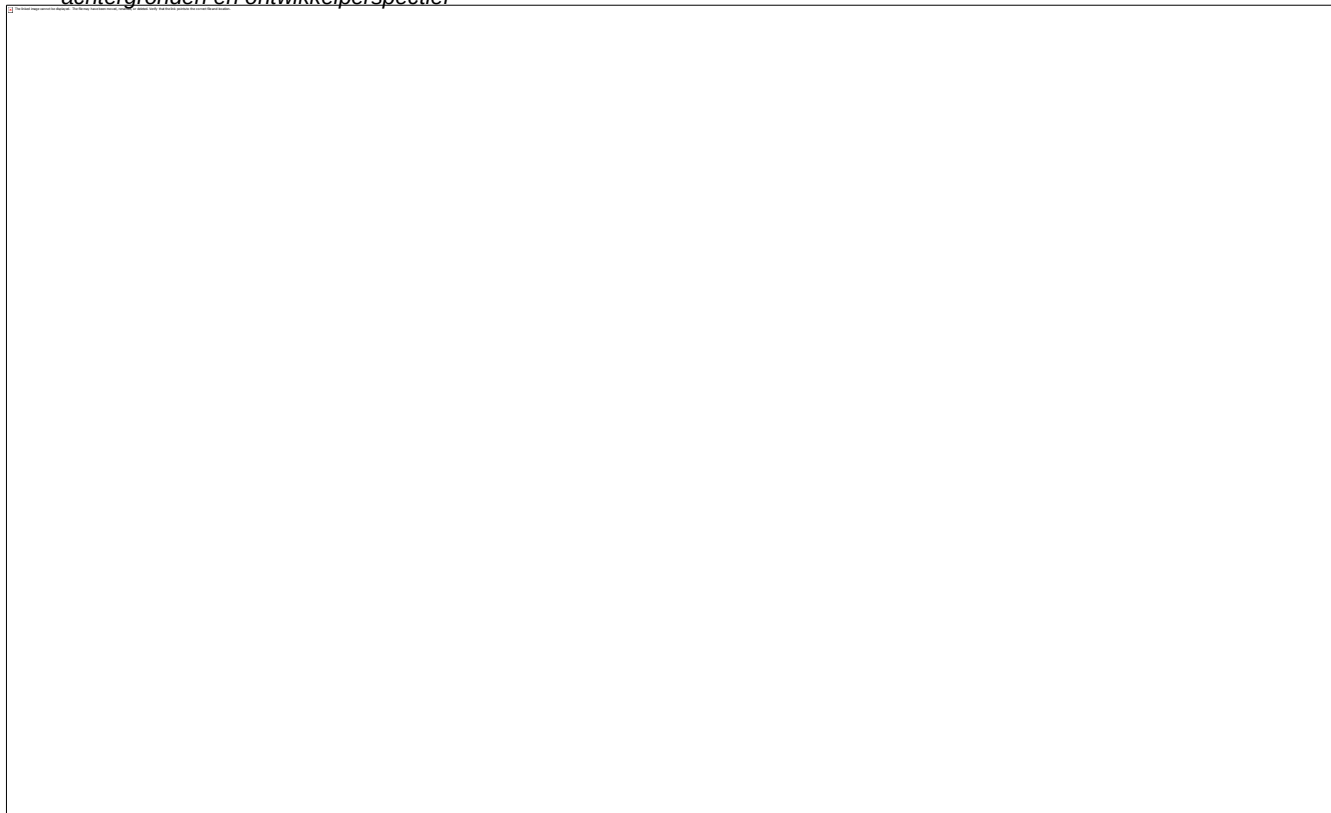
Gedragsdeterminanten kunnen worden ingedeeld in twee onafhankelijk gedragssystemen die parallel aan elkaar het gedrag sturen. Het reflectieve systeem stuurt gedrag aan op grond van beslissingsprocessen gebaseerd op kennis over feiten en waarden. Dit zijn trage, gecontroleerde denkprocessen, waar veel cognitieve capaciteit voor nodig is. Het impulsieve systeem stuurt gedrag aan op grond van impliciete associaties. Dit zijn snelle, spontane, automatische denkprocessen en kosten maar heel weinig cognitieve capaciteit.

Simpel gezegd kan gedrag kan veranderd worden door dwang of door overtuiging. In deze inventarisatie gaat het om het overtuigen van mensen om bijvoorbeeld alternatieve vervoersmethoden of –tijden gaan gebruiken. Dit gedrag kan alleen veranderen door cognitieve inspanning (zie onderstaande schema) en zal deze inspanning niet geleverd worden als er geen interne of externe prikkel of interventie aanwezig is. De gepercipieerde waarden en kosten van nieuw gedrag en de controle en zekerheid over nieuw gedrag, die door de interne of externe prikkel of interventie worden geactiveerd, moeten positief zijn om enerzijds het gewoonte gedrag te kunnen doorbreken (sociale normen en heuristieken) en anderzijds actief nieuwe informatie die van belang is bij het uitvoeren van het nieuwe gedrag te overwegen (gegeven informatie en organisatorische facilitatie).



Het bovenstaande schema geeft de structuur aan van de 225 gedragsdeterminanten die gevonden zijn in deze inventarisatie, maar zijn hier niet verder uitgewerkt.

Al met al is het basismodel in figuur 2 verder uitgewerkt met behulp van een aantal TNO experts wat heeft geleid tot het eerste conceptuele model voor FOUNTAIN (figuur 3)



Figuur 3: Operationeel model FOUNTAIN (blueprint)

4 Ontwikkeling prototype FOUNTAIN

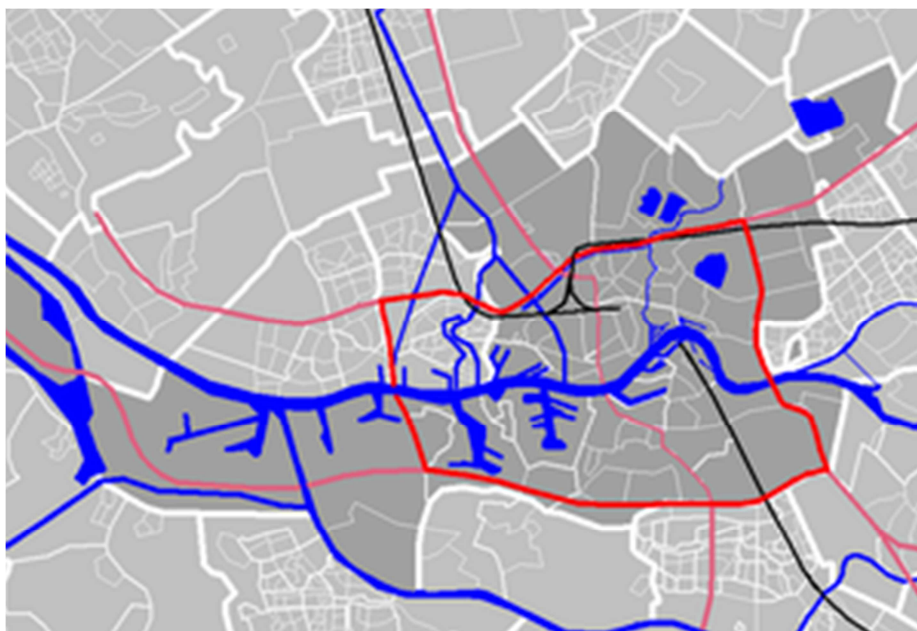
4.1 Inleiding

Het voorliggende hoofdstuk beschrijft op welke wijze de verschillende onderdelen uit figuur 3 in het ABM model zijn geïmplementeerd inclusief een aantal suggesties voor toekomstige aanvullingen. Hiervoor is als basis een geografisch afgebakend gebied genomen, namelijk de Rotterdamse Ruit.

Gedurende de looptijd van het project werd steeds duidelijker dat het bouwen van een prototype van het model gebaat is bij toepassing op een reële case. Naar aanleiding van contacten met de Verkeersonderneming in Rotterdam is besloten om de Rotterdamse Ruit als referentie te hanteren. Dit betekent dat we de belangrijke snelwegen en de belangrijkste woon- en werklocaties hebben gemodelleerd en gevisualiseerd naar de situatie in en rond Rotterdam.

De intentie was ook om het prototype zodanig te kalibreren dat de orden van grootte voor wegcapaciteit en reizigersaantallen enigszins overeenstemmen met de Rotterdamse situatie. Op dit moment staat het model wat dat betreft nog in de kinderschoenen. Anders gezegd: de vervoercapaciteiten en aantallen weggebruikers zijn niet exact volgens de situatie van Rotterdam gemodelleerd, zoals in de figuren 5a en 5b is te zien.

Bij de ontwikkeling van het prototype moet trouwens wel de opmerking gemaakt worden dat het niet de bedoeling is om een voorspellend verkeersmodel te bouwen. Dat ligt vooral in de lijn van de bestaande verkeersmodellen. Hier is vooral het doel om inzicht te verkrijgen in de dynamiek van transitie, waarbij HNR als case fungeert. Dat er op enig moment een aansluiting plaats vindt tussen inzicht uit het ABM model en de bestaande verkeersmodellen is uiteraard niet uitgesloten.



Figuur 4: De Rotterdamse Ruit

4.2 Vervoeromgeving en vervoersysteem

De fysieke omgeving bestaat uit woongebieden en bedrijven (werkgebieden). Beide zijn gedefinieerd als cirkel van in te stellen grootte met een in te stellen capaciteit (aantal inwoners of werknemers).

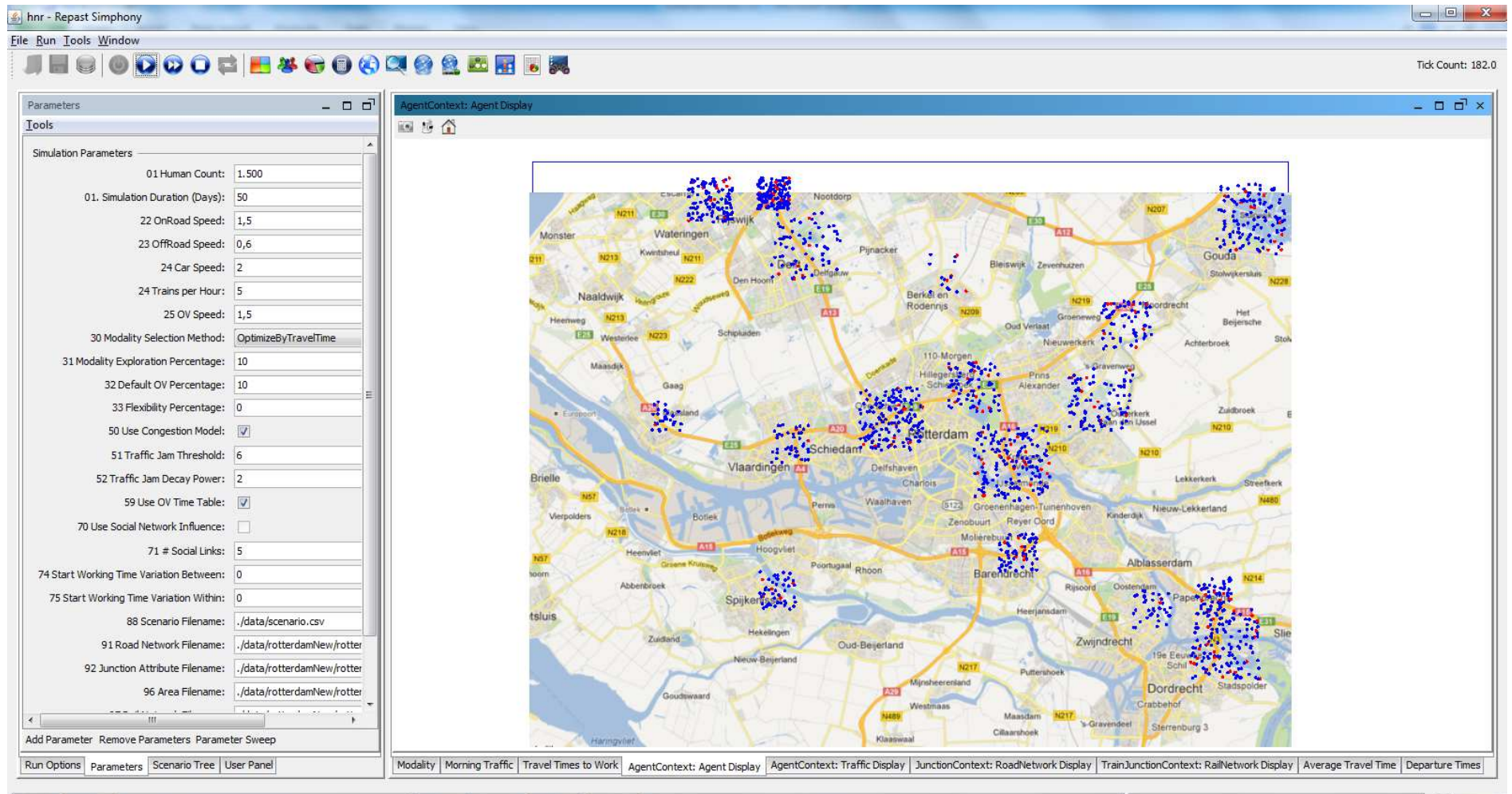
Het transport systeem is met behulp van Repast Symphony gemodelleerd als netwerk van autowegen, evenals een netwerk van rails voor trein of metro. Het autowegennetwerk bestaat uit wegdelen met een bepaalde capaciteit. Het model bepaalt de mogelijke snelheid op een wegdeel als functie van de capaciteit en het aantal weggebruikers. Afhankelijk van de drukte op de wegdelen is er een bepaalde doorstroomsnelheid of zelfs een file.

Het openbaar vervoer is als stervormig ov netwerk gemodelleerd met Rotterdam CS als middelpunt. Vandaaruit gaan de belangrijkste metro- en treinverbindingen naar de diverse woon-werklocaties. Dit werkt via een vaste dienstregeling. Bovendien dient men een overstap te maken als er geen rechtstreekse verbinding is. In het model is dat verwerkt doordat er een treinfrequentie wordt meegegeven voor elk traject. In de huidige implementatie moet je op elk station kunnen overstappen. Omdat dat niet realistisch is nemen we alleen de hoofdstations mee in de simulatie.

Optionele toekomstige aanvullingen:

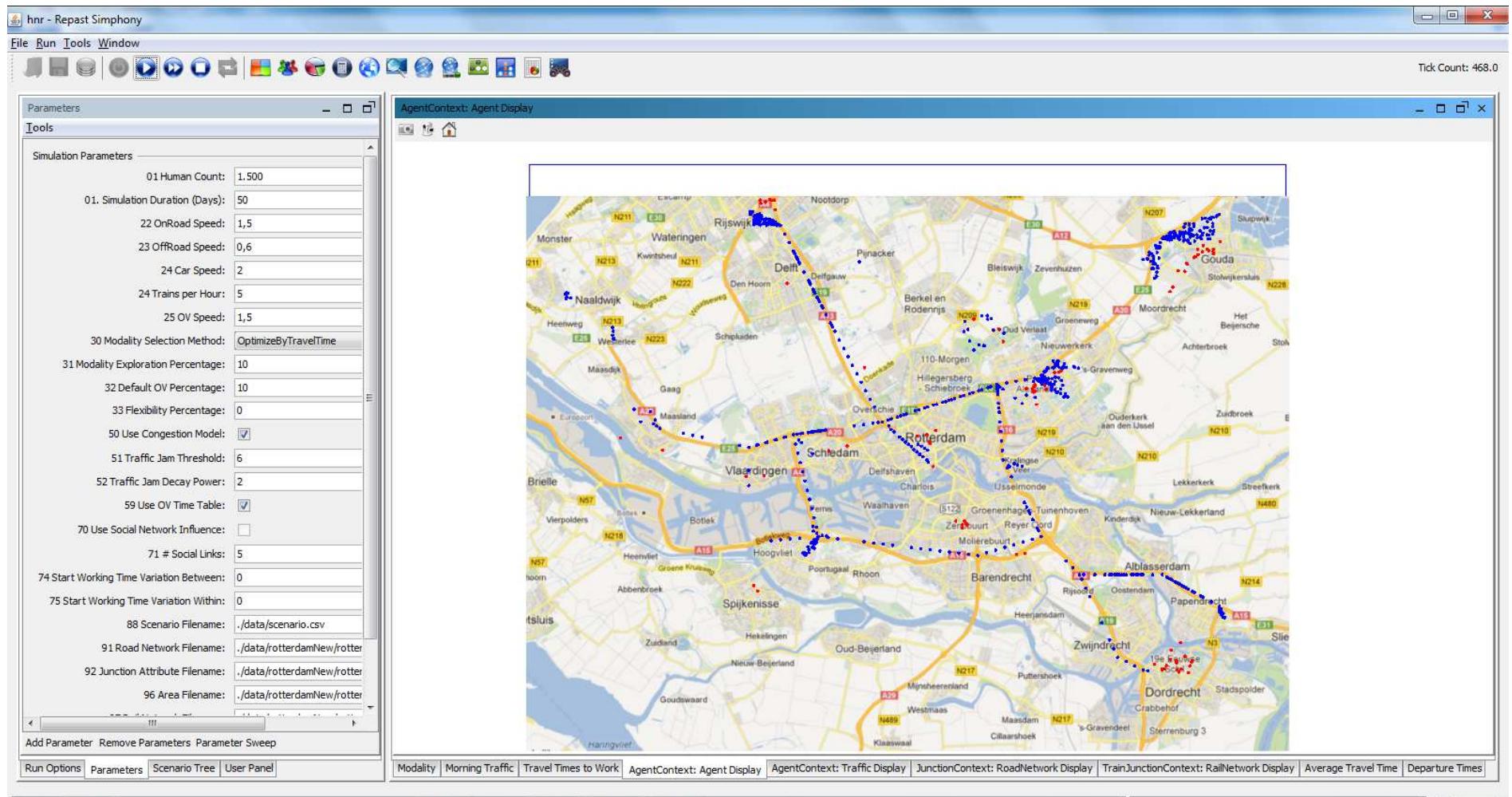
- In eerste instantie loopt het OV als een Zwitsers klokje, later willen we hier verstoringen aan toevoegen om het realistischer te maken. Dit kunnen dan vertragingen zijn of uitval van een dienst. De onzekerheid die hiermee voor de reiziger gecreëerd wordt, moet dan een plek krijgen in het keuzegedrag van de reiziger. Vergelijkbaar met hoe fileleed mensen uit de auto kan bewegen. De betrouwbaarheid van OV kan dan als parameter-waarde worden gevarieerd.
- Ook de fiets kan later als alternatief vervoersmiddel worden toegevoegd. Hierbij kan aangenomen worden dat mensen in een rechte lijn van woon naar werk kunnen bewegen met een beperkte snelheid. Onzekere factor die hierbij later ingebracht kan worden is de weersfactor.

FOUNTAIN (Framework fOr Upscaling Transitions And INnovations): doelstellingen, achtergronden en ontwikkelperspectief



Figuur 5a: Prototype FOUNTAIN zoals werkend in Repast Symphony.

*FOUNTAIN (Framework for Upscaling Transitions And INnovations): doelstellingen,
achtergronden en ontwikkelperspectief*



4.3 Privé omgeving

Werknemers hebben een thuislocatie. Bij de initialisatie van het model worden de thuislocaties gegenereerd door een aantal punten op de kaart aan te wijzen met een bepaalde straal en relatieve omvang. De relatieve omvang bepaalt de kans dat een individu bij de initialisatie aan de locatie wordt toegewezen. Het totaal aantal bewoners is een parameter die eenvoudig kan worden gevarieerd.

Werknemers hebben ook een werklocatie. Bij de initialisatie worden alle werknemers random toebedeeld aan een werklocatie. Dit gebeurt op dezelfde wijze.

Mensen hebben een bepaalde flexibiliteit in vertrek van huis en aankomst bij huis. Deze flexibiliteit kan beïnvloed worden door kinderen of privé activiteiten (bijv. sport, tv avond). In de eerste versie is er een instelknop waarmee je kunt aangeven hoeveel procent van de mensen flexibel is. Indien ze flexibel zijn, zullen ze vervolgens het gehele venster dat het bedrijf ze biedt kunnen benutten (zie company environment). Als ze niet flexibel zijn, dan kiezen ze een vast begin tijdstip binnen het venster dat het bedrijf aanbiedt en dat zo dicht mogelijk bij 8 uur ligt.

Werknemers maken onderdeel uit van een sociaal netwerk. In het huidige model wordt dit netwerk random geconstrueerd. Gegeven een instelbare netwerkdichtheid worden mensen aan elkaar gekoppeld met een bi-directionele relatie.

Sociale beïnvloeding, via het netwerk, vormt een belangrijk onderdeel van de gedrags-loop (zie paragraaf 'Gedrag'). In het kort: mensen zullen een cognitieve grens moeten overschrijden om hun routines te veranderen. Deze cognitieve grensoverschrijding noemen we een 'trigger'. Sociale beïnvloeding in het huidige model houdt in dat een trigger die leidt tot een succesvolle gedragsverandering via het sociale netwerk wordt doorgegeven aan anderen.

Optionele toekomstige aanvullingen:

- Er wordt nog geen onderscheid gemaakt tussen werk- en privénetwerk. Het zou realistischer kunnen zijn om hier wel onderscheid in te maken. Er ontstaan dan meer clusters rondom bedrijven, zodat bedrijfsculturen kunnen ontstaan.
- Het sociale netwerk zou invloed kunnen hebben op hoe men denkt over het gebruik van een bepaalde vervoersmodaliteit, flexibele werktijden, thuiswerken. Dit vereist een koppeling met de gewichten van de nutsfunctie (zie 'Gedrag').
- In het ETP project SON-M worden ook sociale netwerken gemodelleerd. Hierin is beïnvloeding gebaseerd op een theorie van Cialdini. Hij beschrijft 6 factoren die bepalend zijn voor gedragsverandering: reciprocity, consistency, social proof, authority, liking, scarcity. Mogelijk zouden deze factoren kunnen worden vertaald naar de mobiliteitscontext.

4.4 Werkomgeving

Bedrijven leggen in meer of mindere mate beperkingen op aan hun werknemers wat betreft werktijden (vaste begintijden of flexibele begintijden) en werklocaties (mogelijkheid tot thuiswerken).

In de huidige versie van het model wordt door elk bedrijf een begintijdstip bepaald, met daaromheen een bepaald flexibiliteitswindow. De diversiteit tussen bedrijven wordt gemodelleerd door het begintijdstip van de bedrijven te variëren. Deze variatie is een parameter die eenvoudig kan worden aangepast. Het flexibiliteitswindow is in de huidige versie van het model voor alle bedrijven nog hetzelfde.

Optionele toekomstige aanvullingen:

- Thuiswerken zullen we in eerste instantie in een hele simpele variant invoeren waarbij een bedrijf al dan niet de mogelijkheid biedt om thuis te werken. De werknemer kan daar gebruik van maken voor x dagen per week. De x dagen is dan een parameter die kan worden gevarieerd.
- Een werkgever kan vergoedingen geven voor een thuiswerkplek, of een flexibele kostenvergoeding hebben voor auto dan wel ov gebruik.
- Later moeten ook softere factoren van bedrijfscultuur die menselijk gedrag beïnvloeden worden gemodelleerd zoals het belang van zichtbaarheid op de werkplek, de acceptatie van thuiswerken, het vertrouwen in werknemers, etc.
- Later zouden we als optie kunnen toevoegen dat sommige mensen de auto voor het werk nodig hebben en daarmee niet de flexibiliteit hebben om een andere modaliteit te kiezen.

4.5 Gedrag (Commuting Agent Based Model)

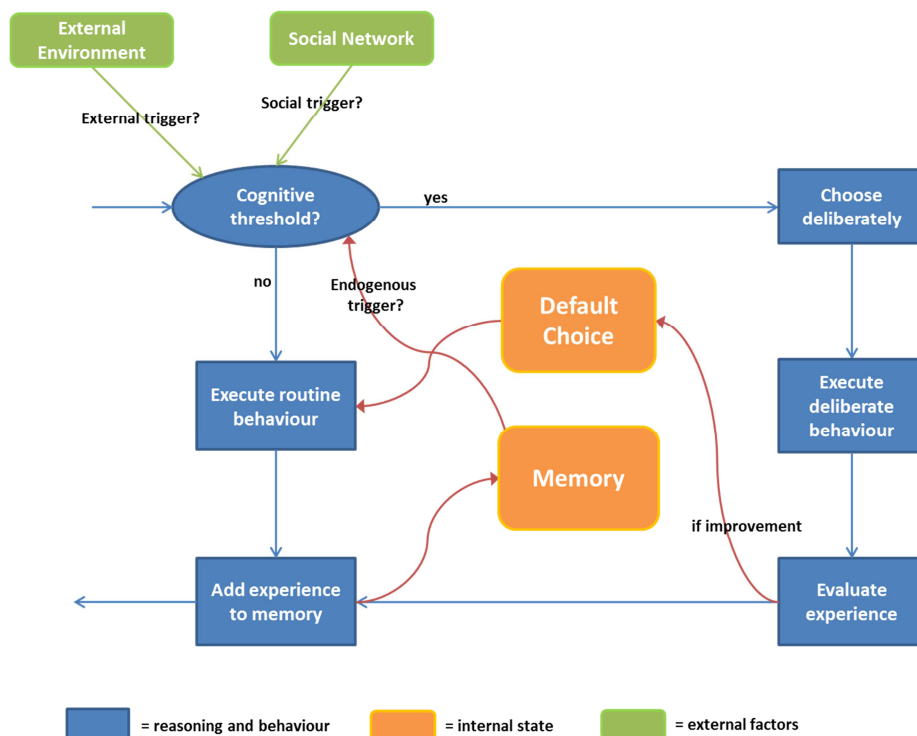
Verreweg het belangrijkste onderdeel van het model is het individuele gedrag van de werknemer. In de huidige versie van het model gaan werknemers elke dag van huis naar hun werk en weer terug. Hiervoor maken ze keuzes in werklocatie, modaliteit en vertrektijd. In de huidige versie van het model zijn er de volgende opties:

- Werklocatie: is aan ieder individu gegeven door locatie werkgever.
- Modaliteit: ieder individu kan kiezen tussen auto of ov.
- Vertrektijd: ieder individu kiest op basis van gewenste aankomsttijd, onder de voorwaarde dat dit past binnen de flexibiliteitswindow van de werkgever.

Het gedragsmodel, zoals opgenomen in de huidige versie van het model, is weergegeven in figuur 6. Iedere werknemer voert standaard een bepaald routinegedrag uit. Dit routinegedrag is bepaald bij de initialisatie van het model. Iedere werknemer kiest dan een vertrektijd zodanig dat hij/zij op tijd op het werk aankomt. Is een werknemer te laat, dan gaat deze de dag erna eerder weg. Is een werknemer te vroeg, dan gaan deze de dag erna later weg. Bij initialisatie worden mensen ook volgens een te kiezen verhouding over ov en trein verdeeld. Dit betekent dat het model een aanlooptijd heeft waarin het routine-gedrag wordt vastgesteld.

Het routine-gedrag bepaalt vervolgens grotendeels de gedragingen van de individuen in het model. Deze gedrag-cyclus wordt doorbroken op het moment dat zich een bepaalde trigger voordoet die een gegeven 'cognitieve threshold' overschrijdt. Het overschrijden van deze cognitieve grens kan op meerdere manieren: er kan een externe trigger zijn (bijvoorbeeld bewustwording door een informatiecampagne), er kan sprake zijn van sociale invloed (ervaringen van vrienden triggeren om iets uit te proberen), of het kan vanuit eigen ervaringen

ontstaan (een endogene trigger, bijvoorbeeld door een aantal keren achter elkaar een slechte ervaring).



Figuur 6: Gedragsmodel opgenomen in de huidige versie van FOUNTAIN.

Zodra de 'cognitieve drempel' is overschreden, zal de werknemer een bewuste keuze gaan maken wat betreft vertrektijd en modaliteit:

- Vertrektijd: een persoon berekent hoeveel eerder of later hij had kunnen beginnen op zijn werk volgens het flexibiliteit window van het bedrijf. Hij kiest random een nieuwe begintijd en past zijn vertrektijd daarop aan.
- Modaliteit: volgens een gegeven kans wordt bepaald of een persoon een ander vervoersmiddel uit gaat proberen. Hij switcht dan tussen OV en auto.

Aan het eind van de dag wordt de ervaring behorende bij het nieuwe gedrag geëvalueerd door deze te vergelijken met de ervaring die hoorde bij het routine-gedrag. Als de bewuste keuze leidt tot een positieve ervaring, past de werknemer het routine-gedrag aan. Dit kan omdat alle ervaringen van werknemers worden opgeslagen in een individueel geheugen. Als er om één of andere reden een cognitieve grens wordt overschreden, gaan werknemers nadenken en maken ze een bewuste keuze over wat ze willen doen.

Op dit moment is het model gefocust op het ochtendgedrag. De terugreis start voor iedereen 8.30 (acht-en-een-half) uur na het begin van het werk met hetzelfde vervoersmiddel. De ervaringen hierin worden niet meegenomen in de geheugenfunctie van de werknemer.

Merk op dat in de huidige versie van het model de bewuste keuze is 'geprogrammeerd' als een random verspringing. Door deze verspringing achteraf te evalueren is het resultaat vergelijkbaar met een vooraf-beredeneerde keuze. Je zou kunnen zeggen dat het niet zozeer beredeneerd gedrag is, als wel exploratief gedrag, ingegeven door bewustwording.

De evaluatie van gedrag wordt gemaakt door een zogenaamde nutsfunctie. Op dit moment heeft deze functie de vorm van een gewogen optelling van:

- Comfort: Iedereen heeft een basiscomfort per modaliteit. Voor de auto is dit de comfortwaarde. Voor de trein geldt er een reductiefactor voor elke keer overstappen en een reductiefactor als de treincapaciteit is overstegen.
- Reistijd: tijdstip van aankomst minus tijdstip van vertrek
- Kosten: afstand woon-werk * kostenfactor (per modaliteit gespecificeerd)

De gewichten voor elk van deze factoren worden per individu ingesteld.

Doelgroepen kunnen gedefinieerd worden aan de hand van deze factoren.

Bijvoorbeeld groepen voor wie financiën belangrijker zijn, of groepen die hechten aan comfort of reistijd,

Optionele toekomstige aanvullingen:

- Bestemmingskeuze modelleren als onderwerp van gedragskeuze.
- Later kan ook de terugreis meegenomen worden in het reisgedrag. Waarbij dan eventueel ook aandacht besteed kan worden aan de afhankelijkheid tussen ochtend en avondreis, bijvoorbeeld om de avondspits te vermijden ga je in de ochtend vroeger of later beginnen.
- Het is mogelijk om doelgroepen te definiëren op basis van de gedragsparameters. Dit kan door de gewichten in de nutsfunctie te variëren voor kosten, comfort en reistijd. De parameters worden voor de doelgroepen vastgelegd in een file met de relatieve grootte van de groep. Bijvoorbeeld:
 - Studenten leggen nadruk op kosten
 - Ouders met kinderen leggen nadruk op reistijd
 - Ouderen leggen nadruk op comfort
- De bewuste keuze is nu random exploratief. Hierbij zouden ervaringen uit het geheugen of ervaringen uit het sociale netwerk sturend kunnen werken.
- Nog verder nadenken over verschil in elasticiteit tussen typen mensen voor de voorkeursfactoren. Ofwel hoe gemakkelijk zijn ze te beïnvloeden om hun voorkeur te verschuiven.
- Niet alle gedragsfactoren zijn beïnvloedbaar: sommige mensen geven de voorkeur aan wifi en benen strekken in het ov, anderen aan de airco en de radio in de auto. Soms hangt dit ook nog af van wat voor reis men maakt. Bijvoorbeeld voor de langere afstand naar een stedelijk centrum wel de trein, maar wanneer je op middellange afstand met lastig voor en na vervoer naar station zit, kies je de auto. In eerste instantie richten we ons op regulier woon-werk verkeer, dan is dit nog niet relevant.
- Verschillende typen triggers genereren: een die alleen reistijd of alleen modaliteit beïnvloedt. Nu worden alle keuzevariabelen altijd heroverwogen.
- Triggers koppelen aan typen interventies.

4.6 Van model naar simulatie

Samenvattend hebben we een model dat een omgeving biedt met *woonlocaties*, *werklocaties*, een *wegennetwerk* en een *OV-netwerk*. In deze omgeving reizen mensen dagelijks naar hun werk. Ze kiezen daarbij een *modaliteit* en een *vertrektijd*. Ze evalueren hun ervaringen op basis van *kosten*, *comfort* en *reistijd*. Mensen hebben een individuele houding ten opzichten van deze factoren.

Om het model in een simulatie te draaien, moeten er verschillende parameters ingesteld worden, zowel voor de fysieke omgeving als van het gedragsmodel. Voor de validiteit van de simulatie dienen de parameters dusdanig ingesteld te worden dat het de gewenste context goed weerspiegelt. In dit onderzoek hebben we slechts in zeer beperkte mate gebruik gemaakt van empirische data om de parameters goed in te stellen. Voor hogere validiteit van de simulatie resultaten is dat een vereiste.

Hier staat beschreven hoe de parameters in het model zijn gekalibreerd om als prototype simulatie te dienen voor woon-werk verkeer in de regio Rotterdam. Om te beginnen met de omgevingsparameters:

- Het basis scenario schetst woon- en werklocaties in de regio Rotterdam. Er zijn 20 woonlocaties en 25 werklocaties gespecificeerd met een capaciteit en een grootte. De locaties zijn gekozen met de realiteit in het achterhoofd, maar weerspiegelen de realiteit zeker niet volledig. In deze setting reizen 2000 mensen van huis naar werk en terug. Deze mensen zijn volledig neutraal ten opzichte van auto of ov.
- Wegverkeer: Het weggennetwerk reflecteert het snelwegennet rondom Rotterdam. De op- en afritten zijn niet volledig waarheidsgetrouw ingevuld, maar geprobeerd is om de belangrijkste mee te nemen. De maximum snelheid op de snelwegen is uniform. De maximum snelheid is zo ingesteld dat de reistijd met de auto voor elke werknemer tussen de 0 en de 90 minuten valt. Dit is inclusief reistijd van huis naar snelweg.
- Invloed van files: De wegcapaciteit is zo ingesteld dat door de files de gemiddelde reistijd naar het werk met zo'n 33 procent toeneemt als 1500 mensen om half 9 op hun werk wil zijn.
- OV Verkeer: Het ov netwerk weerspiegelt het trein en metro netwerk rond Rotterdam in grote lijnen. Niet alle stations zijn weergegeven, maar wel de grootste. De snelheid van het OV is zo ingesteld dat de reistijd met OV voor elke werknemer tussen de 0 en de 120 minuten valt. Dat is inclusief reistijd naar het station en inclusief overstaptijd.
- De ov-capaciteit is dusdanig ingesteld dat de gemiddelde ervaring van de reizigers hetzelfde negatieve effect heeft als de files voor automobilisten, als er 500 mensen met het ov reizen die om half 9 op hun werk willen zijn.
- De kosten van het auto en ov zijn dusdanig op elkaar afgestemd dat de extra reistijd van het ov wordt gecompenseerd door hogere kosten van de auto wanneer er gekeken wordt naar populatiegemiddelden.

Met deze instellingen kunnen scenario's doorgerekend worden. In de simulatie kunnen tijdens een scenario verschillende dingen grafisch getoond worden. Er kan een geografische plot gemaakt worden die de posities van agenten per minuut weergeeft. Er kunnen verschillende grafieken gemaakt worden met dag-

statistieken, bijvoorbeeld van aantallen automobilisten en ov-reizigers, gemiddelde reistijd, kosten, comfort, files, vertrektijden.

In de simulatie wordt veel gelogd, waardoor we de informatie ook achteraf kunnen tonen of analyseren. Dit kan zowel op individueel niveau als op geaggregeerd populatieniveau. De volgende informatie is beschikbaar:

- Per persoon per dag: modaliteitskeuze, vertrektijd, comfort-, kosten-, en reistijdervaring, overall ervaren utiliteit, of ze wel of niet getriggerd zijn en of ze een succesvolle gedragsverandering hebben meegemaakt
- Per dag de filedruk voor elk kwartier en totale filedruk

4.7 Eerste resultaten

In deze paragraaf laten we de eerste resultaten zien van het model zoals hierboven beschreven. In deze fase gaat het erom om inzichten te krijgen in de dynamiek van het systeem en hoe het reageert op verschillende situatieveranderingen. De dynamiek komt onder andere voort uit de manier waarop de omgeving gemodelleerd is en op basis van de factoren waarop de agents hun keuzes bepalen. Deze dynamiek lichten we eerst algemeen toe. Daarnaast zijn er psychologische mechanismen ingebouwd in het gedragsmodel, die ook belandrijke invloed hebben. Daarom analyseren we de psychologische gedragsmechanismen in isolement. Tot slot passen we complexere scenario's toe waaruit we kunnen afleiden hoe het systeem reageert op interventies.

4.7.1 Algemene dynamiek

Mensen evalueren dagelijks hun ervaringen en kennen er een bepaalde utiliteit aan toe. Als we uitgaan van rationele mensen die continu hun keuzes optimaliseren ontstaat er dynamiek in het model op de volgende manieren:

- Het congestie-model voor autoverkeer zorgt ervoor dat als iedereen de auto neemt, er file ontstaat en de reistijd voor automobilisten langer wordt. Mensen kunnen vervolgens de trein uitproberen en merken dat die sneller is en er een hogere utiliteit aan toekennen.
- Het comfort-model zorgt ervoor dat als de treinen overvol raken de comfortervaring van de trein minder wordt. Dat kan ertoe leiden dat iemand die de auto uitprobeert daar een hogere utiliteit aan toekent.
Bij werkgevers wordt een window gespecificeerd waarbinnen de werknemers zelf zijn begintijd van werken mag kiezen. Zo'n window leidt tot meer spreiding in de vertrektijden.

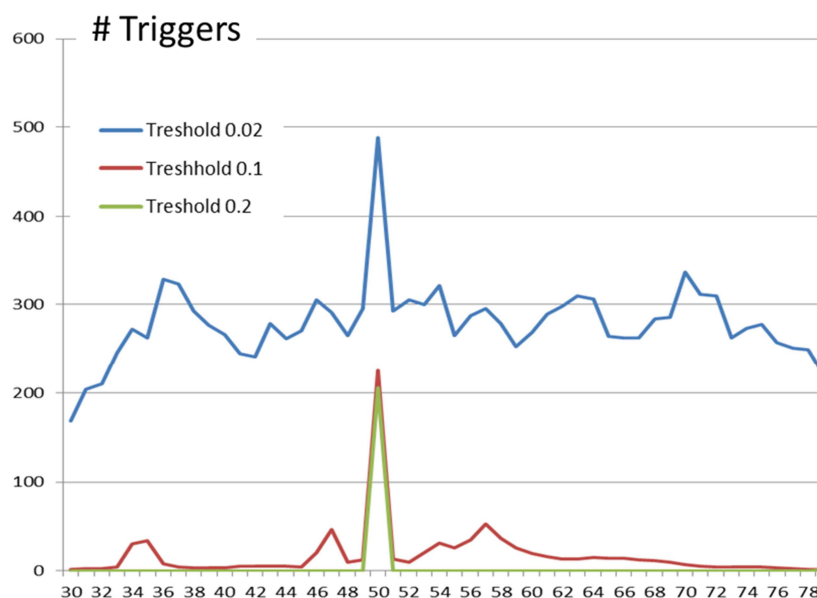
Effecten van de mechanismen in gedragsmodel

Zoals beschreven in paragraaf 4.4 hebben we een gedragsmodel gekozen waarin mensen niet continu hun gedrag optimaliseren, maar een routinegedrag hebben wat ze pas bij een cognitieve grensoverschrijding verlaten. Deze cognitieve grensoverschrijding kan op dit moment op drie manieren tot stand komen: een externe trigger zoals een informatiecampaagne, een sociale trigger die via het sociale netwerk wordt doorgegeven, of een endogene trigger die vanuit de eigen ervaringen komt.

De externe trigger is een factor van buiten het systeem. Het gedragsmodel zelf bevat de twee andere belangrijke mechanismen, het *routinegedrag* en *sociale beïnvloeding*. Er dient een aantal gedragsparameters ingesteld te worden met

invloed op de uitwerking van de genoemde mechanismen op de dynamiek in het systeem. Daar gaan we nu eerst op in.

Routinegedrag: Mensen hebben *routinegedrag* waarmee ze hun keuzes bepalen, tenzij ze door iets getriggerd worden om een beredeneerde keuze te maken en eventueel hun routines aan te passen. De parameter die dit mechanisme beïnvloedt is de *Endogene Trigger Threshold*. Dit is de grenswaarde die aangeeft hoe groot de afwijking van iemands korte-termijn ervaring moet zijn ten opzichte van zijn verwachting, zodat hij uit zijn routinegedrag gehaald wordt. De parameter geeft dus weer hoe snel iemand uit zichzelf zijn gedrag wil aanpassen en optimaliseren. Figuur 7 geeft dit principe weer. Er wordt een scenario getoond van een stabiele situatie met op dag 50 een externe trigger. Op de y-as is uitgezet het aantal agents dat zijn routinegedrag loslaat. Te zien is dat met een lage waarde van deze threshold er eigenlijk altijd een groot deel van de agents zijn gedrag wil aanpassen, terwijl bij een hogere waarde niemand uit zichzelf zijn routines verlaat,

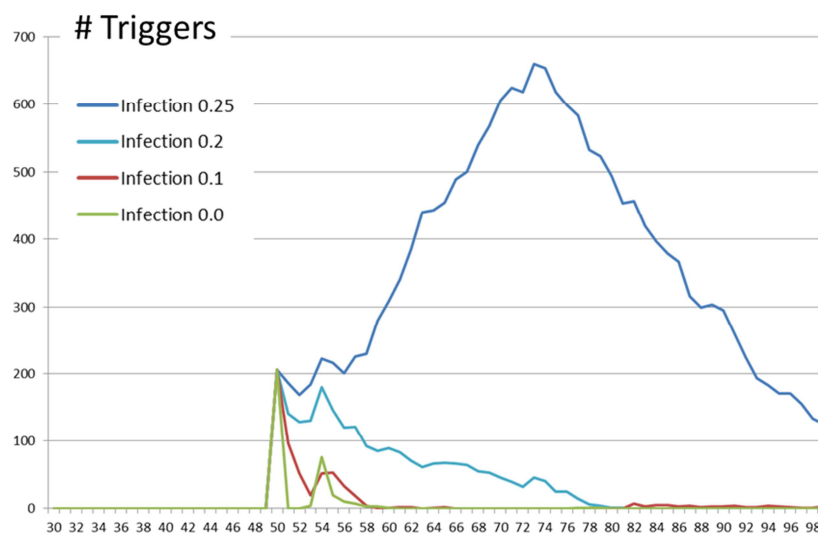


Figuur 7 Aantal endogene triggers door de tijd voor verschillende waarden van de endogene trigger threshold. Het scenario is een stabiel systeem met een externe trigger op t=50.

De waarde van de endogene trigger threshold geeft aan hoe groot de afwijking van iemands korte-termijn ervaring moet zijn ten opzichte van zijn verwachting. Bij een waarde van 0,2 moet er dus een (negatief) verschil zijn van 20% ten opzichte van de verwachting. Uit psychologisch onderzoek blijkt dat de waarde van 20% hier valide is (referentie). Omdat deze waarde tevens het mechanisme tot gevolg heeft wat we willen, houden we deze waarde aan.

Sociale beïnvloeding: het mechanisme waarmee het model sociale beïnvloeding bevat geeft succesvolle gedragsveranderingen door via het sociale netwerk. Dat betekent dat als een agent op een dag van zijn routinegedrag afstapt en zijn nieuwe reis keuze als beter ervaart, de volgende dag de agents in zijn directe sociale omgeving van hun routine af zullen stappen met een bepaalde *infectiekans*. Deze *infectiekans* heeft invloed op de verspreiding door het sociale netwerk evenals het

aantal sociale links dat mensen hebben. In het scenario hebben we een random sociaal netwerk gegenereerd waarin iedereen met ongeveer 5 willekeurige anderen gelinkt is. Figuur 8 geeft de sociale netwerkeffecten weer voor verschillende waarden van de infectiekans. Er wordt een scenario getoond van een stabiele situatie met op dag 50 een externe trigger, met op de y-as het aantal agents dat van zijn routinegedrag afstapt en wat nieuws probeert.



Figuur 8 Aantal triggers door de tijd voor verschillende waarden van de sociale infectiekans. Het scenario is een stabiel systeem met een externe trigger op $t=50$

Wat je ziet is dat het mechanisme van sociale beïnvloeding een enorme impact op de beweeglijkheid van het systeem kan hebben. De infectiekans is de parameter waarmee dit te reguleren is. Verder zie je een enorme sprong in beweeglijkheid bij tussen de waarden 0.2 en 0.25 (Tabel 1). Dat dit kan optreden is een bekend fenomeen: er is een vrij strikte grenswaarde voor de infectiekans, die bij overschrijding leidt tot een 'hype', waarbij bijna alle agents in het netwerk worden bereikt. Echter in ons model is de daadwerkelijke kans van overdracht van een trigger de combinatie van de parameter die we hier instellen (de *infectiekans*) en de kans op een succesvolle gedragsverandering, want alleen die worden doorgegeven. Dus ook de algehele toestand van het systeem is hier van belang, namelijk als er ruimte is voor verbetering dan is de kans op een succesvolle gedragsverandering groter dan wanneer iedereen al optimaal gekozen heeft. Als we kijken naar het resultaat van de trigger plus de sociale beïnvloeding, kunnen we kijken naar of de files afgenomen zijn in het systeem. De waarden in de onderstaande tabel zijn in absolute zin niet zo belangrijk: ze vertellen de cumulatieve vertraging van alle automobilisten in het systeem. Er geldt: hoe lager hoe beter. Wat je ziet is dat de grootste systeemverandering ook tot het beste resultaat heeft geleid, maar de verbetering ten opzichte van het op een na beste resultaat is beperkt. Je moet je dus afvragen of een dergelijke schok door het systeem voldoende meerwaarde heeft gehad.

Hiermee hebben we beschreven hoe de psychologische mechanismen in het gedragsmodel effect hebben op hoe het systeem functioneert.

Tabel 1 Fileresultaat van de scenario's weergegeven in Figuur 8

Infectiekans	Fileresultaat
0.25	1825
0.2	2004
0.1	2858
0.0	3041

4.7.2 Effecten van Interventies

We hebben in ons systeem nu vier verschillende interventies ingebouwd. Dit is geen uitputtende lijst, het zijn slechts voorbeelden van wat je in werkelijkheid terug ziet. De interventies hebben verschillende eigenschappen wat betreft de manier waarop ze het systeem beïnvloeden.

1. Informatiecampagnes
2. Verminderen wegcapaciteit (denk aan wegwerkzaamheden)
3. Verruimen van werktijden
4. Verhoging brandstofprijzen

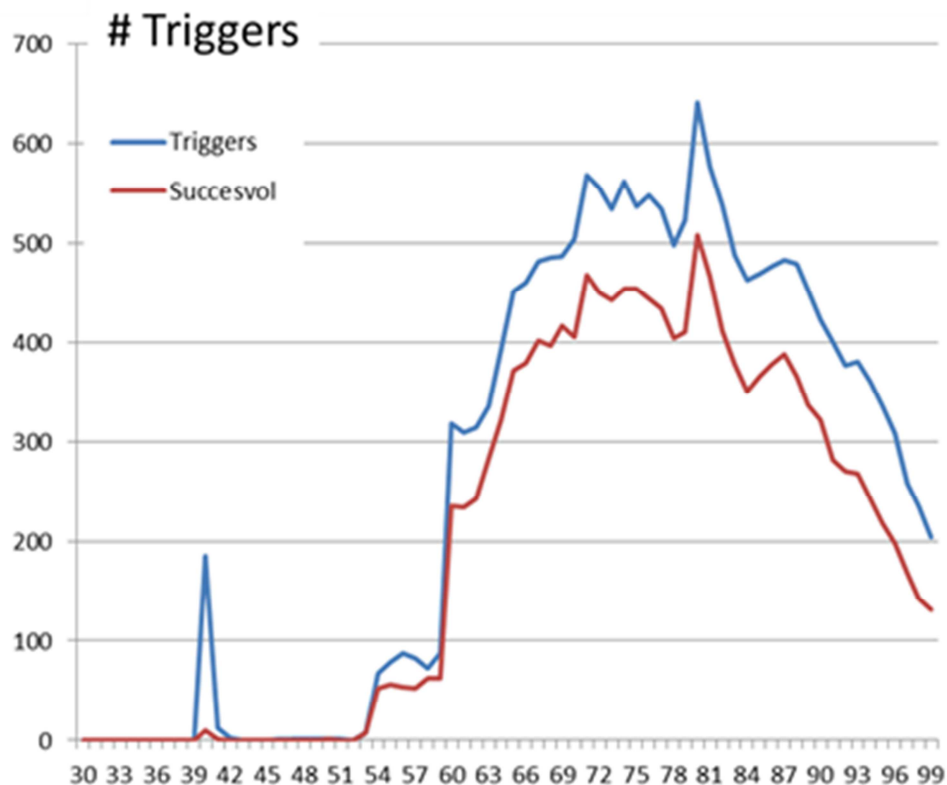
Twee van deze interventies passen vooral bij de overheid, namelijk informatiecampagnes en vermindering wegcapaciteit. Een komt vanuit bedrijfsleven: werktijden verruimen, en de verhoging van brandstofprijzen kan door externe factoren gebeuren, maar ook overheidsingrijpen kan invloed hebben. De manieren waarop de verschillende interventies het systeem beïnvloeden staat in tabel 2.

Tabel 2 Interventies en de manier hoe ze het systeem beïnvloeden.

Interventie	Beïnvloedingsmechanisme
Informatiecampagne	Een informatiecampagne verandert het systeem niet daadwerkelijk, maar schudt het even op: sommige mensen worden getriggerd om eens iets anders te proberen
Verminderen wegcapaciteit	Dit beïnvloedt automobilisten op een negatieve manier, vooral degene die in drukke periodes op de weg zijn.
Verruimen van werktijden	Dit verruimt de mogelijkheden, mensen hebben meer keuze om op andere tijden te reizen. Het heeft geen directe invloed op de ervaringen.
Verhoging van brandstofprijs	Dit beïnvloedt alle automobilisten in een negatieve manier.

laatje laat zien dat de eerste campagne (t=40) geen effect heeft. Op t=50 worden de werktijden versoepeld. Iets daarna zijn er al agents die door een endogene trigger betere reiskeuzes vinden. Ze gaan met name op andere tijden reizen. Een vervolgcampagne op t=60 werkt daardoor als katalysator op de al gestarte verspreiding via sociale beïnvloeding. De derde campagne op t=80 vind plaats als het verander-effect al over zijn hoogste punt heen is. Deze campagne is dan ook minder succesvol. Dit scenario laat zien de timing van een interventie belangrijk kan

zijn voor het effect. Een informatiecampagne heeft dus vooral effect als er ruimte voor verbetering in het systeem zit.

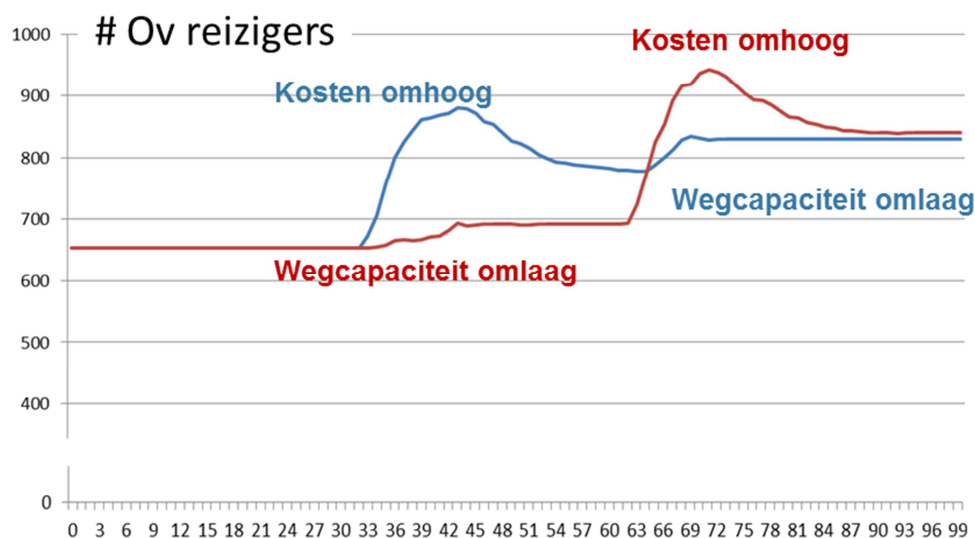


Figuur 9: Weergave van aantallen triggers door de tijd heen. De x-as geeft de dagen weer, de y-as het aantal agents dat afwijkt van zijn routine op die dag. Het scenario: dag 40 = Informatiecampagne 1, dag 50 = verruimen werktijden, dag 60 = informatiecampagne 2 en dag 80 = informatiecampagne 3.

Ook de volgorde van interventies is belangrijk. In de volgende scenario's laten we twee interventies plaatsvinden:

- Scenario 1: eerst benzinekosten verhogen en daarna de wegcapaciteit verkleinen
- Scenario 2: eerst de wegcapaciteit verkleinen en daarna de benzinekosten verhogen

In de figuur staat voor beide scenario's het aantal ov-reizigers weergegeven.



Figuur 10: Het aantal ov-reizigers door de tijd heen voor twee scenario's. Scenario 1 = eerst benzinekosten verhogen en daarna de wegcapaciteit verkleinen. Scenario 2 = eerst de wegcapaciteit verkleinen en daarna de benzinekosten verhogen.

We zien een aantal interessante dingen: De interventies leiden allen tot een verhoging van het ov gebruik. Dat is wat je verwacht. Je ziet hierin een piek, waarna het aantal ov-gebruikers weer af neemt. Dit is te verklaren doordat het druk wordt in het ov en er dus ook weer mensen de auto ingejaagd worden, vanwege de negatieve comfort ervaring.

Het aantal ov reizigers eindigt in beide scenario's vrijwel gelijk. Echter als we de fileresultaten erbij pakken, zien we dat scenario 2 (eerst capaciteit verkleinen, dan benzinekosten verhogen) beter presteert. Namelijk:

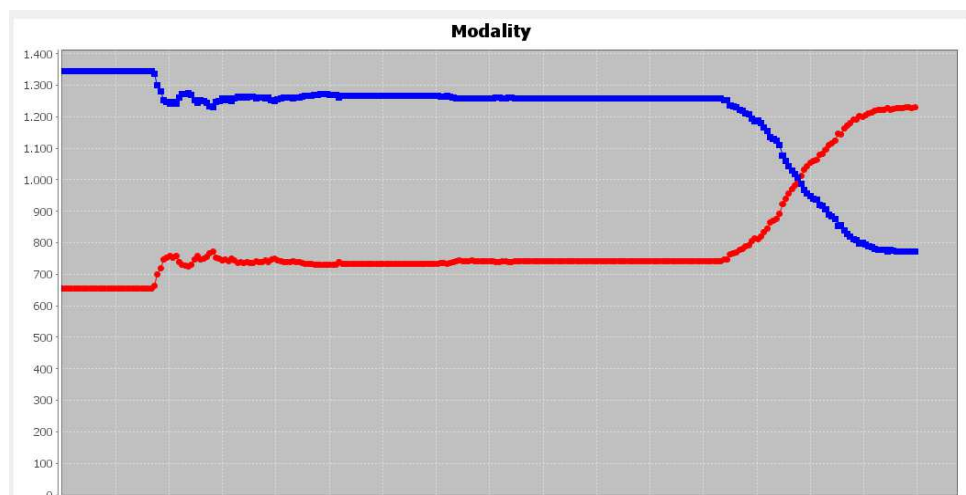
Tabel 3 Fileresultaat voor beide scenario's

	Fileresultaat
Scenario 1	4016
Scenario 2	3830

Dit komt doordat door de capaciteit te verkleinen mensen niet alleen de trein ingaan, maar ook gespreider in de tijd gaan reizen. De drang om verspreid te gaan reizen (spitsmijden) is groter als het druk is op de weg. Als we eerst de kosten verhogen, jagen we mensen eerst de trein in, en rijden er ten tijde van de capaciteitsverkleining minder mensen op de weg. Daardoor is er bij de capaciteitsverkleining een kleiner effect qua spreiding.

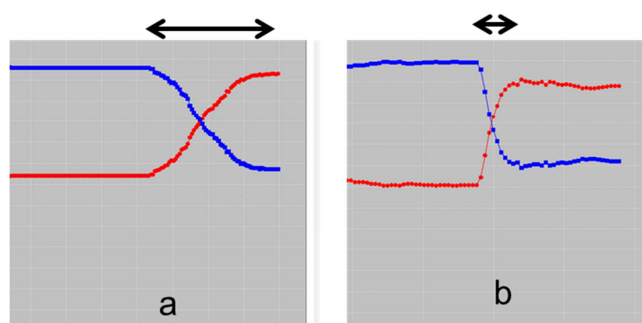
Spanning in het systeem: met behulp van het volgende scenario laten we zien wat we bedoelen met spanning in het systeem: We laten de benzineprijs geleidelijk oplopen met stapjes van 1 cent. Hieronder in Figuur 11 zien we de verdeling van automobilisten en ov-reizigers. Gedurende de tijd dat de benzineprijs verhoogd wordt, zien we dat de verdeling tussen de twee gelijk blijft, ondanks dat de utiliteit van de ervaring van de automobilisten sterk gedaald is. Dit komt doordat mensen de verwachting van utiliteit baseren op hun (lange termijn) ervaringen. Bij een kleine

stijging van de prijs verandert de verwachting langzaam mee. Ze krijgen geen endogene trigger, omdat de afwijkingsgrens van 20% niet gehaald wordt. Er zit echter spanning in het systeem: als we na de honderd kleine verhogingen een externe trigger geven, slaat het systeem om. Na een tijdje nemen veel meer mensen het ov dat de auto. Er zat dus spanning in het systeem. Een externe trigger zorgt dan ineens voor een grote verandering.



Figuur 11 Ov reizigers (rood) en automobilisten (blauw) door de tijd heen. De benzineprijs wordt langzaam verhoogd.

Figuur 12 laat de transitiefases zien voor het scenario met geleidelijke prijsstijging, en een scenario waarin de benzine in een keer met 100 cent verhoogd wordt. De totale prijsstijging is het zelfde. De uitwerking van het systeem verschilt wel degelijk. Bij de langzaam oplopende prijs gaat de transitie relatief geleidelijk. Analyse laat zien dat vooral verspreiding via het sociale netwerk hier een grote rol in speelt. Bij de plotselinge prijsverhoging slaat het systeem veel sneller om. Dit komt doordat alle automobilisten tegelijk een endogene trigger krijgen. Ze gaan direct over cognitieve threshold, wat zorgt voor de snelle omslag.



Figuur 12 De transitiefases na een sterke prijsverhoging van de benzine. In a) betreft het een geleidelijke verhoging. In b) betreft het een abrupte verhoging.

4.8 Conclusie

Het hiervoor gepresenteerde model is een prototype en de analyses zijn vooral ter illustratie van inzichten die verkregen kunnen worden uit een dergelijk model. De resultaten zijn te prematuur om er op dit moment gedetailleerde conclusies aan te verbinden of concrete adviezen mee te geven. Daarvoor is een grondige kalibratie en validatie van het model vereist, en dienen de resultaten beter onderbouwd worden.

We kunnen in zijn algemeenheid wel een aantal conclusies trekken. Bijvoorbeeld, het gedragsmodel wat we gebruikt hebben bevat mechanismen die ondersteund worden door psychologische theorie. We hebben laten zien dat zowel het mechanisme rondom routinegedrag als het mechanisme van sociale beïnvloeding effect hebben op hoe het systeem reageert op interventies en veranderingen. We hebben laten zien dat verschillende interventies op verschillende manieren effect sorteren. Door het model te analyseren kun je de effecten relateren aan hoe individuen reageren. Hierdoor kunnen we begrijpen hoe individuele gedragsmechanismen in verband staan met resultaten op populatieniveau. Daarnaast blijkt dat zowel timing van interventies als onderlinge volgorde van belang zijn voor het eindresultaat, en we hebben laten zien wat het betekent als er spanning in het systeem zit.

Over de resultaten kan gediscussieerd worden met betrokkenen of experts, bijvoorbeeld beleidsmakers en verkeerskundigen. Een simulatiemodel als hierboven kan zo tot nieuwe inzichten leiden.

5 Doorkijk naar het vervolg

5.1 Samenvatting

De achterliggende doelstelling van de hier beschreven activiteiten is om meer grip te krijgen op het fenomeen opschaling en transitie. Opschaling gedefinieerd conform de transitietheorie: een onomkeerbare systeemverandering gebaseerd op een gedragsverandering van de betrokken actoren in het betreffende systeem. De transitietheorie zelf leunt weer op, onder andere, uitgangspunten van theorieën over complexe adaptieve systemen.

Hiermee is opschaling dus wat anders dan wat gewoonlijk onder opschaling wordt verstaan, namelijk het simpelweg uitrollen van een maatregel. Vorig jaar is de keuze gemaakt om te focussen op “Het Nieuwe Reizen” (HNR) met als meer praktische doelstelling het geven van een antwoord op de vraag welke interventies leiden tot een zodanige verandering van woon-werk reisgedrag dat de filedruk afneemt, terwijl de arbeidsproductiviteit en de work-life balance toeneemt (werkgevers- en werknemersperspectief).

In 2011 is gestart met de ontwikkeling van een kwalitatief model gebaseerd op de TNO tool MARVEL. Dit leidde na een aantal participatieve en multidisciplinaire sessies tot een systeembeschrijving van HNR en gaf een eerste indicatie van mogelijke interventies. Tegelijkertijd werd duidelijk dat het meso en macro niveau op deze manier redelijk goed kon worden “gevangen”, maar dat juist het micro niveau (gedragscomponent van zowel het individu als de “instituten”) en het effect hiervan op meso en macro niveau onvoldoende naar voren komt. Hiermee wordt dan ook onvoldoende recht gedaan aan het principe van opschaling, dat juist uitgaat van een koppeling van de verschillende niveaus.

In 2012 was daarom de doelstelling om te onderzoeken hoe de gedragscomponent beter in het model kan worden verwerkt. Na literatuuronderzoek en een aantal interviews bleek Agent Based Modelling (ABM) de hiervoor meest geschikte methode. Dit betekende echter een hele andere wijze van werken / modelleren dan MARVEL.

Een ABM model start met een systeemmodel waarin de hoofdonderdelen van het ABM geïdentificeerd zijn en met elkaar in verbinding zijn gebracht. Met behulp van de inzichten uit dit systeemmodel is de afgelopen maanden in een groot aantal participatieve sessies gewerkt aan een framework voor een opschalingsmodel en gedragsmodel van HNR, wat uiteindelijk heeft geresulteerd in een eerste concept van een werkend ABM Model van HNR. Als louter praktische oriëntatie hiervoor is de Ring Rotterdam genomen, zonder een “filevoorspellingsmodel voor Rotterdam” (o.i.d.) te willen ontwikkelen.

5.2 Voortgang in 2013

5.2.1 Model- en toolontwikkeling

De huidige versie van FOUNTAIN is slechts een begin. Zoals al is aangegeven in hoofdstuk 4, zijn er diverse uitbreidingen mogelijk en nodig om bruikbare simulaties te kunnen genereren. Het gaat dan vooral om de volgende zaken, waarvan een groot aantal in 2013 daadwerkelijk zal worden opgepakt:

- Verbreding spectrum van interventies: momenteel zijn enkele interventies (van overheid en bedrijven) gemodelleerd en enkele triggers (gebeurtenissen die reizigers aanzet hun routinegedrag te heroverwegen). Het spectrum van interventies en triggers dat geanalyseerd kan worden, zal verder verbreed moeten worden.
- Modelling van sociale omgeving: een eerste versie van een sociale omgeving is gemodelleerd waarin reizigers elkaar beïnvloeden in een sociaal netwerk. Dit sociale netwerk moet meer betekenis krijgen. Dit kan door onderscheid te maken tussen werk en privé netwerken. Tevens moet gemodelleerd worden hoe interventies van bedrijven en overheden gerelateerd zijn aan de sociale netwerken (dynamiek van sociale diffusie en beïnvloeding).
- Gedragsmodellen: een eerste versie van een gedragsmodel is geïmplementeerd. Dit gedragsmodel moet verder aangevuld worden zodat deze conform the theory of planned behavior is. Vervolgens moet het gevuld worden met betekenisvolle data van doelgroepen (zie data-acquisitie).
- Relatie met bestaande mobiliteitsmodellen: uitwisseling van kennis en informatie tussen FOUNTAIN en het landelijke verkeersmodel (LMS). Enerzijds kan het landelijke verkeersmodel (en hiervan afgeleid de regionale verkeersmodellen) in de toekomst mogelijke gevoed worden met beter onderbouwde kennis rondom gedrag, anderszijds kan het FOUNTAIN model gevoed worden met contextuele informatie zoals groepen reizigers, nutsfuncties, infrastructurele kenmerken, etc.
- Modelperspectief: Tot nu toe heeft het accent gelegen op een onderzoeksmodel. Aandacht moet besteed worden aan het model "volwassen" te maken. Belangrijke aspecten zijn dan bijvoorbeeld documentatie, programmeertaal, visualisatie, etc.
- Interface: het verbeteren van de gebruikersinterface zodat het model gemakkelijk gebruikt kan worden met externen. Hierbij hoort ook dat de resultaten inzichtelijk gecommuniceerd kunnen worden.

5.2.2 Data-acquisitie / real world data

De casus is tot nu toe gevisualiseerd aan de hand van de Rotterdamse Ruit. Echter zonder real world data. Dit heeft maar een beperkte waarde. We hebben data nodig om het model te kunnen bouwen (inzichten over relevante factoren en de relaties daartussen); vervolgens om het model te kalibreren (fit maken op basis van de realiteit); en ten slotte om het model te valideren (controle om te bezien of het gekalibreerde model ook overeenstemt met nieuwe data). Over het algemeen zijn betrouwbare gegevens schaars of zijn ze zeer gefragmenteerd (niet in samenhang beschikbaar). Dit laatste is in 2012 wel heel duidelijk naar voren gekomen.

Een belangrijke activiteit voor 2013 wordt daarom gevormd door het verzamelen van data. Grofweg kunnen we hier drie te combineren vormen onderscheiden:

- Systeemdata op basis van landelijke en regionale verkeersmodellen, bijvoorbeeld vervoersbewegingen, doelgroepen, wegennet, etc. Hiermee wordt

teven aansluiting bij dit soort modellen gewaarborgd. Op dit moment lopen hierover al beginnende contacten met de expertise groep Mobiliteit / Smart Mobility / Robuuste Infrastructuur. Voor 2013 wordt deze lijn verder doorgetrokken en geïntensiveerd.

- Kwantitatieve data op basis van enquêtes, maar ook resultaten van bestaand onderzoek van interventies etc. Dit biedt vooral mogelijkheden om meer inzicht te krijgen in de (samenhangende) determinanten van mobiliteitsgedrag. Vooralsnog wordt gedacht aan aanhaking bij externe partijen (zie ook punt 2).
- Kwalitatieve data, bijvoorbeeld op basis van narratives, gaming. Dit zou vooral kunnen worden gebruikt om de mechanismen die ten grondslag liggen aan gedrag en verandering van gedrag in beeld te brengen. Vooralsnog is het de bedoeling een nader te bepalen aantal werksessies (eventueel met stakeholders, zie punt 2) op dit punt te organiseren. Samenwerking zal gezocht worden bij relevante TNO kennis, al dan niet binnen andere ETPs.

5.3 Naar een generieke aanpak

5.3.1 Inleiding

In de voorgaande hoofdstukken is beschreven wat complexe vraagstukken zijn en wat voor modelleertechnieken geschikt zijn om dergelijke vraagstukken beter te kunnen begrijpen. Tevens is aan de hand van de case opschaling van Het Nieuwe Reizen getoond wat voor soort model dit kan opleveren en wat de (on)mogelijkheden ervan zijn.

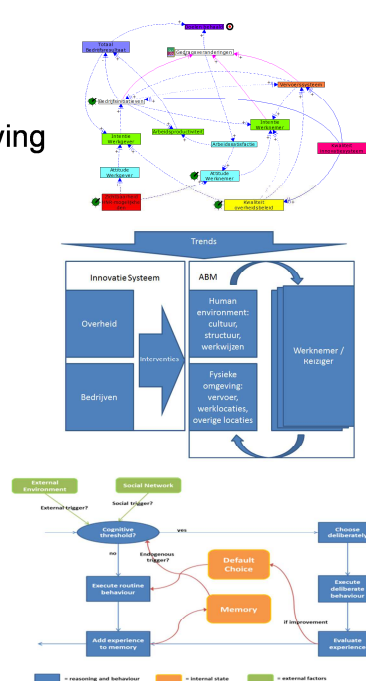
In deze paragraaf zullen we beknopt toelichten hoe een uit deze case gedestilleerde generieke aanpak voor het omgaan met complexe vraagstukken er uit kan zien. Dit zullen we beschrijven aan de hand van onderstaande figuur. In deze figuur komen een aantal concepten samen die gezamenlijk de basis vormen waarop een Agent Based Model voor een complex vraagstuk ontwikkeld kan worden.

Ten aanzien van de generieke aanpak worden de volgende stappen onderscheiden:

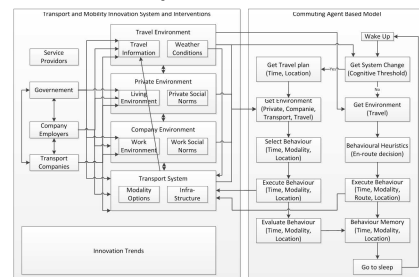
1. Systeembeschrijving
2. Vertaling naar Multi level transitie-model en ABM structuur
3. Bepalen van het concept psychologische gedragsmodel van de agenten die gemodelleerd moeten worden.
4. Uitwerken in ABM softwaretool

MARVEL
SysteembeschrijvingMultilevel,
Opschaling,
en ABM

Gedragsmodel



Concept ABM model



Figuur 12: Generieke stappen t.b.v. inzicht in complexe vraagstukken

5.3.2 Stapsgewijze aanpak

Stap 1: systeembeschrijving

In de allereerste stap wordt vastgesteld welke vraag gemodelleerd moet worden. Hieruit wordt afgeleid welke “measures of effectiveness” inzichtelijk gemaakt moeten worden om. Bij het type complexe vraagstukken waar we antwoord op willen geven gaat het vaak om welke interventies een transitie kunnen ondersteunen en waar het al dan niet effectief zijn van een interventie gevoelig voor is. Hierbij is het belangrijk te benoemen welke gedragsveranderingen de interventies beogen te bereiken. Bij het benoemen van de mogelijke interventies, factoren waarvan de interventies afhankelijk zijn en waar gedragsveranderingen van afhankelijk zijn, zal tevens benoemd moeten worden welke elementen van het systeem gemodelleerd moeten worden om uitspraken te doen over de effectiviteit van interventies.

Bij deze exercitie is het belangrijk inzichtelijk te maken wat niet alleen de eerste orde effecten zijn, maar tevens juist de hogere orde effecten van interventies, inclusief negatieve bijeffecten. Tevens is het belangrijk om inzichtelijk te maken welke feedback loops in het systeem een rol kunnen spelen. Om dit systeemmodel te maken is het noodzakelijk om de experts te betrekken die de betreffende problematiek voldoende breed en divers kunnen overzien. Hierbij dient tevens expertise ingebracht te worden over transitie en transitie management van maatschappelijke systemen.

Om de inzichten van deze diverse experts te combineren tot een systeemmodel is het organiseren van zogenaamde Group Model Building sessies een goed middel. Doel van deze sessies is om hoofdlijnen een kwalitatief model te maken van de

problematiek. Tools die hierbij kunnen helpen zijn het binnen TNO ontwikkelde MARVEL of generiek beschikbare System Dynamics tools.

Stap 2: Vertaling naar multi-level transitie-model en ABM structuur

Zoals eerder in dit rapport benoemd is ABM de meest geschikte modelleertechniek om transitie van complexe systemen te modelleren. Het systeemmodel van stap 1 zal in de tweede stap vertaald moeten worden naar een conceptstructuur voor een ABM model volgens de transitiegedachte. Het framework van Wander Jager (2000) dat eerder in dit rapport benoemd is, biedt hiervoor voldoende aanknopingspunten. Het zal enigszins aangepast moeten worden aan het specifieke vraagstuk dat gemodelleerd moet worden en de stakeholders die bij dat vraagstuk van belang zijn. In de basis zal er altijd benoemd moeten worden welke agenten we onderscheiden, hoe die agenten interacteren met een fysieke en sociale omgeving. Daarnaast ook op welke wijze deze agenten en hun omgeving beïnvloed worden door externe interventies of andere factoren die we inzichtelijk willen krijgen (bijvoorbeeld lange termijn trends).

Stap 3: Bepaling van concept psychologisch gedragsmodel van agenten

Nu de structuur van het ABM model na de eerste twee stappen duidelijk is en inzichtelijk is en welke agenten gemodelleerd moeten worden, is de volgende stap om op hoofdlijnen vast te stellen volgens welk gedragsmodel de agenten in het model gaan acteren. Soms kan dit op basis van hele simpele regels (bijvoorbeeld een agent kiest de kortste route van A naar B). Maar bij het modelleren van vraagstukken met een sociale component zal het gedragsmodel veelal iets uitgebreider zijn. In voorliggende case hebben we The Theory of Planned Behavior van Ajzen en Fishbein (1980) als basis genomen. Vervolgens is benoemd hoe een agent door zijn fysieke en sociale omgeving beïnvloed wordt in zijn gedrag, waarbij de vooraf gekozen elementen aan de orde zijn gesteld.

Stap 4: Uitwerking in ABM softwaretool

Nadat dit voorwerk gedaan is kan de daadwerkelijke ABM software-omgeving gemaakt worden. Bij het ontwikkelen van het model wordt vaak vooraf een programma van eisen opgesteld: hoe ziet het eruit, wat kan het en wat levert het op in termen van uitkomsten?

Het maken van een ABM model van een complex sociaal vraagstuk is echter meer een gezamenlijke ontdekkingsstocht met de experts die het vraagstuk kennen. De voorgaande stappen bieden de basis waarop een eerste versie gebouwd kan worden, maar vervolgens zal dit stapsgewijs verder ontwikkeld en uitgebreid worden.

Nadat een eerste basisversie draait kunnen de eerste analyses gemaakt worden. Het systeemgedrag dat hier uit volgt zal bepaalde kwesties aan het licht brengen die verder uitgewerkt moeten worden met de betreffende experts. En uiteindelijk wanneer er voldoende beeld is bij de experts dat het model ook datgene omvat dat gemodelleerd moest worden, kan het model gebruikt worden om gezamenlijk tot nieuwe inzichten te komen.

5.3.3 *Enkele algemene opmerkingen*

Het verkrijgen van de juiste data vormt een enorme uitdaging. Bij de ontwikkeling van het model moet ingeschat worden welke data redelijkerwijs achterhaald kan worden. Het beoogde detailniveau speelt hierbij een cruciale rol. Als het doel bijvoorbeeld is om inzichtelijk te maken hoe reizigers op systeemniveau reageren

bij een bepaalde verandering in subsidiebeleid voor mobiliteit is het wellicht niet noodzakelijk om zeer nauwkeurig het bestaande mobiliteitsnetwerk met alle gebruikers na te bouwen. Alleen een vergelijkbare druk op de parameters in het gedragsmodel van de agenten is voldoende. Met behulp van een goed beeld van het gewenste detailniveau kan de benodigde modelleerinspanning en dataverzameling beperkt worden.

Bij het communiceren van de resultaten naar opdrachtgevers vergt dit overigens wel weer extra aandacht omdat ook zij meegenomen moeten worden in deze aanpak. Zij moeten voldoende vertrouwen hebben in de validiteit van de inzichten die het model genereert. De gemakkelijkste manier is om een voor hen herkenbare werkelijkheid zo veel mogelijk na te bouwen. Maar dit is veelal niet haalbaar. Vaak zullen de inzichten die het model oplevert logisch verklaard kunnen worden. Achteraf bestaat dan soms wel de uitdaging om de meerwaarde van het model aan te tonen (immers de uitspraken zijn zo logisch), maar de validiteit staat dan minder ter discussie. Een mogelijk alternatieve benadering om de inzichten aan belanghebbenden over te brengen is middels een serious game. Men begrijpt dan dat de game de werkelijkheid niet exact representeert, maar door er zelf mee te gaan interacteren kan men wel een beter begrip krijgen van de complexiteit en het effect van interventies en eigen handelen in deze omgeving.

Verder moet bij alle modellen die inzicht willen genereren in complexe maatschappelijke systemen en in mogelijke effecten van interventies benadrukt worden dat het geen klassieke voorspelmodellen zijn. Hiervoor is de inherente onzekerheid van de ontwikkeling van complexe systemen te groot: orde effecten van positieve en negatieve feedback loops, butterfly effect, emergentie, lange- en korte termijn effecten, etc. (zie ook hoofdstuk 2 en de werkrapportage ETP Macro 2011). Waar het echter bij de modellen waar we het hier hebben om gaat, is het gezamenlijk begrijpen van een complex maatschappelijk vraagstuk en het verkrijgen van gevoel voor de mogelijke effecten van allerlei interventies.

Bijlage 1: Overzicht geraadpleegde literatuur

Ajzen, I., Fishbein, M. (1980), *Understanding attitudes and predicting social behaviour*. Prentice-Hall: Englewood Cliffs, N.J.

Cilliers, P. (1998), *Complexity and Postmodernism: Understanding Complex Systems*, London, Routledge

Chappin, E. J. L. (2011), *Simulating Energy Transitions*, TU Delft, Delft, ISBN 978-90-79787-30-2 (proefschrift)

Dijk, van, J.A.G.M. (2001), *Netwerken het zenuwstelsel van onze maatschappij*, Enschede (*oratie*)

Geels, F. W. (2002), *Technological transitions as evolutionary reconfiguration processes: A multi-level perspective and a case-study*, Research Policy 31(8/9), 1257-1274

Geels, F. W., Kemp, R. (2000), *Transities vanuit socio-technisch perspectief*, MERIT, Maastricht

Gunderson, L.H., Holling, C.S. (eds.) (2002), *Panarchy: understanding transformations in human and natural systems*, Island Press, Washington, D.C., USA

Heylighen, F. (2001), *The science of self-organization and adaptivity*, In: L.D. Kiel, ed. Knowledge management, organizational intelligence and learning, and complexity. Oxford: The Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS), Eolss Publishers.

Haan, de, H., Rotmans, J. (2011), *Patterns in transitions: understanding complex patterns of change*, In: Technological Forecasting and Social Change, vol. 78, no. 1, 90-102

Harkema, S.J.M. (2004), *Complexity and emergent learning in innovation projects: an application of the complex adaptive systems theory*, United Press, Veenendaal (proefschrift)

Holling, C. S. (1987), *Simplifying the complex: The paradigms of ecological function and structure*, In: European Journal of Operational Research 30: 139–146.

Jager, W. (2000). *Modelling consumer behaviour.*, Rijksuniversiteit Groningen, Groningen (proefschrift)

Jager, W., Jansen, M. (2012), *An updated conceptual framework for integrated modeling of human decision making: The Consumat II*, Paper for Workshop Complexity in the Real World @ ECCS 2012 - from policy intelligence to intelligent policy, Brussels, 5th & 6th September 2012

Kauffman, S. (1995), *At home in the universe: The search for laws of complexity*, Oxford, UK, Oxford University Press.

Lindenberg, S., Steg, L. (2007), *Normative, Gain and Hedonic Goal Frames Guiding Environmental Behavior*, Journal of Social Issues, 63, (1). 117-137(21).

Lindt, van de, M.C., Scheepstal, van, P. (2011), *Interveniëren met beleid in complexiteit: Kwalitatieve Systeem Analyse als hulpmiddel voor verkenning van complexe vraagstukken*, TNO, Delft (interne werk notitie, ETP Macro)

Loorbach, D.A. (2007), *Transition Management: new mode of governance for sustainable development*, DRIFT, Rotterdam (proefschrift)

Raven, R. (2004), *Strategic Niche Management for Biomass*, TUE, Eindhoven

Markard, J., Raven, R., Truffer, B. (2012), *Sustainability transitions: an emerging field of research and its prospects*, In: Research Policy 41 (2012) 955– 967

Priogine, I., Stengers, I.(1984), *Order out of chaos: Man's new dialogue with nature*. Boulder, CO:New Science Library

Raven, R. (2004), *Strategic Niche Management for Biomass*, TUE, Eindhoven

Rotmans, J. (2012), *In het oog van de orkaan: Nederland in transitie*, Aeneas, Boxtel (ISBN 978-94-6104-026-8)

Rotmans, J., Loorbach, D., Brugge, van der R.(2005), *Transitiemanagement en duurzame ontwikkeling: co-evolutionaire sturing in het licht van complexiteit*, DRIFT, Rotterdam

Teisman, G., Buuren, van, A., Gerrits, L. (2009), *Managing complex governance systems – dynamics, self-organization and coevolution in public investments*. New York / London, Routledge.

Tiemeijer, W.L., Thomas, C.A., Prast, H.M. (red.) (2009), *De menselijke beslisser: over de psychologie van keuze en gedrag*, WRR, Den Haag

Urry, J.(2003), *Global Complexity*, Polity Press: Cambridge, Oxford, Malden

Wal, van der, N. (2012), *Social Agents: Agent-Based Modelling of Integrated Internal and Social Dynamics of Cognitive and Affective Processes*, Universiteit Utrecht, ISBN- 978-90-8570-783-7 (proefschrift)

Zijderveld, van, E.J.A. (2007), *MARVEL: Principles of a method for semi-qualitative system behavior and policy analysis*, TNO, Den Haag (paper)