

# DE BEREIKBARE STAD



**TNO** innovation  
for life

## HYPERMOBILITEIT – HET SYSTEEM REMT AF

Een bereikbare stedelijke omgeving is cruciaal voor een gezonde, dynamische en economisch vitale stad. Dat de bereikbaarheid in veel steden onder druk staat, is geen verrassing. Het aantal inwoners is in de afgelopen decennia aanzienlijk gegroeid en de economische activiteit is toegenomen. Logischerwijs is het aantal vervoersbewegingen daarmee ook sterk gegroeid. Op veel plaatsen gaat dat ten koste van de leefbaarheid en vormt congestie een belangrijk risico voor de economische vitaliteit. Opvallend is dat deze groei weliswaar de grenzen van het bestaande mobiliteitssysteem blootlegt, maar het nog niet structureel heeft veranderd.

Oplossingen om de bereikbaarheid te verbeteren komen vaak nog steeds voort uit de heersende gedachte dat extra infrastructuur de problemen het hoofd kan bieden. Dat heeft jarenlang gewerkt, maar het is tijd voor een nieuwe benadering. Stedelijke bereikbaarheid vraagt om redeneren vanuit mobiliteit in plaats van modaliteiten. De eindgebruiker staat centraal.

We leven in de eeuw van de hypermobiliteit<sup>1</sup>. Deze term wordt steeds vaker gebruikt om aan te geven dat de behoefte aan interconnectiviteit ook grenzen kent. Door de toenemende verstedelijking wordt ruimte voor infrastructuur schaarser (zeker binnenstedelijk), terwijl er door die verstedelijking juist steeds meer ruimte nodig is voor infrastructuur. Leefbaarheid

en economische vitaliteit komen onder druk te staan. De grootste problemen doen zich voor op het gebied van congestie, veiligheid, parkeerproblematiek, luchtkwaliteit en energiegebruik<sup>2</sup>. Veel steden beginnen de behoefte aan een duurzaam, fijnmazig en efficiënt mobiliteits- en transportsysteem te (h)erkennen. De problemen zijn urgent, maar in de stad ligt ook de oplossing. Omdat daar veel mensen profiteren van het oplossen van knelpunten, zijn er hoge maatschappelijke baten te behalen<sup>3</sup>. Maar hoe ziet zo'n toekomstig systeem eruit? Stedelijk mobiliteitsbeleid is van oudsher sterk politiek gekleurd. Door de discussie uit het frame 'auto versus openbaar vervoer' te halen en integraal te beschouwen is meer mogelijk dan op dit moment wordt bereikt.

1 Hajer, M., Hoen, A., & H. Huitzing (2012). *Shifting Gear: Beyond Classical Mobility Policies and Urban Planning* (hoofdstuk 7, pp. 151-178) in Van Wee, B. (eds) *Keep Moving, Towards Sustainable Mobility*. Den Haag: Rli, EEAC & Eleven International Publishing.

2 Ministerie van Infrastructuur en Milieu (2015). *Around the world in eighty days*. Den Haag: Ministerie van IenM.

3 Verrips, A.S. & A. Hoen (2016). *Kansrijk Mobiliteitsbeleid*. Den Haag: Centraal Planbureau en Planbureau voor de Leefomgeving.

We staan aan de vooravond van omvangrijke veranderingen van het mobiliteitssysteem zelf. Verstedelijking zal de komende decennia, zowel nationaal als internationaal, doorzetten, dus de urgentie om de stad bereikbaar te houden is groot.

Daarnaast zijn er steeds meer technische oplossingen voorhanden – en in aantocht – die een verandering van denken en doen op gang brengen en de aansturing van het mobiliteitssysteem gaan veranderen.

Dit zal worden ondersteund door de maatschappelijke en organisatorische innovaties om via geïntegreerde systeemafwegingen (en bijvoorbeeld integraal moneteriseren) tot duurzame mobiliteitsoplossingen te komen. De organisatie is nu veelal top-down vanuit het afzonderlijke systeem georganiseerd. Zo houden de decentrale systemen en bijbehorende partijen vaak op bij hun eigen grenzen.

Om de verbinding naar de eindgebruiker te maken en tot op zekere hoogte maatwerk mogelijk te maken, is zelforganisatie nodig. Alle onderdelen van het systeem moeten met elkaar in verbinding staan en met elkaar communiceren: een fysiek internet. De gebruiker wil instappen op plaats van vertrek en uitstappen op plaats van aankomst via een soepel georganiseerde dienst (*Mobility as a service*). Het is voor hem minder relevant wie de mobiliteit organiseert. Dat geldt ook voor de logistiek. Ook hier is het voor de consument minder relevant hoe de logistieke processen eruitzien, zolang de goederen maar op efficiënte en duurzame wijze worden vervoerd en op (zijn of haar) tijd aankomen.

Een fysiek internet vraagt ook om instrumenten en kennis om integrale systeem-beslissingen te nemen. Een balans tussen centrale regie, decentrale uitvoering en zelforganisatie van het systeem.

Een balans tussen modaliteit, mobiliteit, bereikbaarheid en de - steeds belangrijker wordende - beleving<sup>4</sup>, en bij voorkeur ook nog in maatwerk.

Hoe houden we de stad van de toekomst bereikbaar? Hoe kunnen we de eindgebruiker zo goed mogelijk bedienen met de mogelijkheden die het mobiliteitssysteem biedt? Welke keuzes moeten we daarin maken? We presenteren in dit position paper een doorkijk, ons perspectief op de toekomstige bereikbare stad.

We voorspellen een belangrijke paradigmawisseling in het (stedelijke) mobiliteits-systeem en bezinnen ons op de consequenties en uitdagingen.

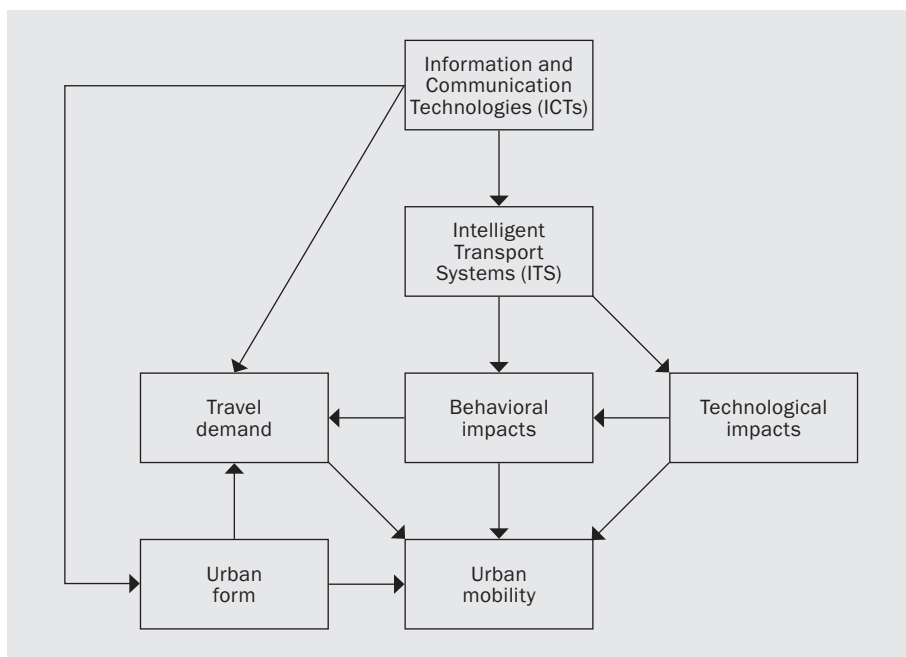
**De bereikbare stad – ‘bereikbaarheid’ nader gedefinieerd**

Bereikbaarheid gaat over toegankelijkheid en de kwaliteit van een verbinding. Over uitwisseling tussen verschillende locaties. Wat er precies wordt uitgewisseld, maakt niet uit. Dan kan van alles zijn: personen en goederen over fysieke wegen, maar ook virtuele stromen als ideeën en e-mails via telefoon en internet (dit laatste valt buiten de scope van dit position paper, maar is wel meer en meer de basis voor fysieke uitwisseling).

Bereikbaarheid gaat over het hoe en waarom achter deze stromen - waarom vindt er juist tussen deze specifieke locaties uitwisseling plaats en hoe wordt deze verbinding georganiseerd? In welke termen bereikbaarheid wordt uitgedrukt, en hoe de toegankelijkheid van een plek - kwaliteit van de verbinding - wordt ervaren, is sterk afhankelijk van persoonlijke voorkeuren. Dat zal in de toekomst een steeds belangrijker rol gaan spelen.

**INTERNET OF THINGS MAAKT FLEXIBILITEIT DE NIEUWE STANDAARD**

We staan aan de vooravond van een aantal innovatiedoorbraken en grootschalige toepassing van bewezen technieken die het stedelijke mobiliteitslandschap gaan veranderen. Het gaat voornamelijk om grootschalig gebruik van grote hoeveelheden data die beschikbaar zijn over vervoersstromen van goederen en personen en de voorkeuren en wensen die betrokkenen hebben. Door ICT en sensoriek is het steeds beter mogelijk om de kleinste vervoerde eenheid (pakketten en personen) gedurende hun reis continu te volgen en de route die zij afleggen te beïnvloeden. Daarnaast worden zowel infrastructuur als voertuigen steeds slimmer en flexibeler. ICT in de vorm van (toekomstige) *Intelligent Transport Systems* is een van de grootste krachten die het systeem van mobiliteitsbewegingen gaan veranderen. Het verandert niet alleen onze mobiliteitswensen, maar ook de efficiëntie waarmee we op een duurzame manier aan die wensen kunnen voldoen<sup>5</sup>. De potentiële effecten van ICT op stedelijke mobiliteit zijn samengevat in figuur 1<sup>6</sup>. Die figuur laat zien dat deze effecten via een aantal lijnen te verwachten zijn. Om die effecten te kunnen duiden is een brede analyse nodig van ICT op het gehele stedelijke systeem.



Figuur 1 – Potentiele effecten van ICT op stedelijke mobiliteit

4 Ruimtevolk (2016). *Perspectief op mobiliteit van de toekomst*.  
 5 Sweatman, P. (2012). *Information and Communications Technology (ICT) Unleashed* (hoofdstuk 4, pp. 85-107) in Van Wee, B. (eds) *Keep Moving, Towards Sustainable Mobility*. Den Haag: Rli, EEAC & Eleven International Publishing.  
 6 Cohen-Blankshtain, G. & Rotem-Mindali, O. (2016). *Key research themes on ICT and sustainable urban mobility*. *International Journal of Sustainable Transportation*, 10:1, 9-17.



Er is overigens brede consensus over de verwachting dat de ontwikkelingen in ICT niet zozeer het aantal (stedelijke) mobiliteitsbewegingen gaan veranderen, maar juist de mobiliteitspatronen en de efficiëntie van de verkeersafhandeling. Voor onderdelen van het systeem kan dat overigens anders zijn. Zo zal efficiënte afstemming van binnenstedelijke logistiek wel degelijk grote gevolgen hebben voor het aantal mobiliteitsbewegingen.

#### DE STAD ALS LEVEND NETWERK

De stad werkt als een magneet en heeft een natuurlijke netwerkfunctie. Innovaties in automatisering en ICT stimuleren de netwerk mogelijkheden die steden kenmerken enorm. De kennis van virtuele netwerken stelt ons in staat om de natuurlijke groei van de stad en haar netwerkfunctie te versterken. Het internet, met zijn tempo en de mogelijkheid om mensen over grote afstanden met elkaar te verbinden, inspireert om ook de fysieke netwerken op dat hoge niveau te brengen. Een stad gedraagt zich dan als een fysiek internet.

De ICT-systemen die de verschillende infrastructuurmodaliteiten en de vervoersbewegingen monitoren en regisseren 'praten' met elkaar en vormen met elkaar als het ware een *urban operating system*. Zo'n systeem kan verschillende vormen hebben. Het kan de vorm hebben van een top-down gestuurd systeem dat vanuit *control towers* wordt gecoördineerd. Maar het kan ook juist meer zelforganiserend zijn (bijvoorbeeld gebaseerd op *block-chain* technologie) op basis van zelflerende ICT en netwerken. Omdat de

verschillende systemen met elkaar moeten kunnen samenwerken, ontstaat er een grote, zelfregulerende stedelijke infrastructuur die continu op het niveau van de gehele stad op verschillende randvoorwaarden en sturingsparameters optimaliseert. Niet een enkel kruispunt of een rondweg. Dat sluit aan bij de steeds belangrijker wordende vraag om een duurzaam mobiliteitssysteem. Er ontstaat een gedistribueerde intelligentie in het systeem door de kleinste onderdelen van de infrastructuur, personen en pakketten, met slimme ICT en sensoren uit te rusten.

#### DE GEBRUIKER BEPAALT

Experts zijn eenduidig in hun voorspelling dat de klant of de gebruiker van het mobiliteitssysteem een veel grotere stem gaat krijgen. Dat is een expliciete breuk met het hier en nu waarin mobiliteitsstromen veelal vastliggen en top-down worden opgelegd. Denk bijvoorbeeld aan de dienstregeling van het openbaar vervoer. Of aan logistieke ketens die vaak nog werken met een vooraf gemaakte planning door de verladers of vervoerders. Het mobiliteitssysteem zal in de toekomst ook omgekeerd, van onderaf, worden aangestuurd. Dit concept wordt ook wel aangeduid als *mobility as a service*. De gebruiker staat centraal en bepaalt de randvoorwaarden waaronder hij van a naar b verplaatst wordt. De verlener van de mobiliteitsdienst zal daarop een passend aanbod maken. Ook de (binnenstedelijke) goederenstromen zullen door deze ontwikkeling van andere modaliteiten en infrastructuur gebruik kunnen maken. Er komt een besturingsniveau op de kleinste entiteit. Hier liggen overigens

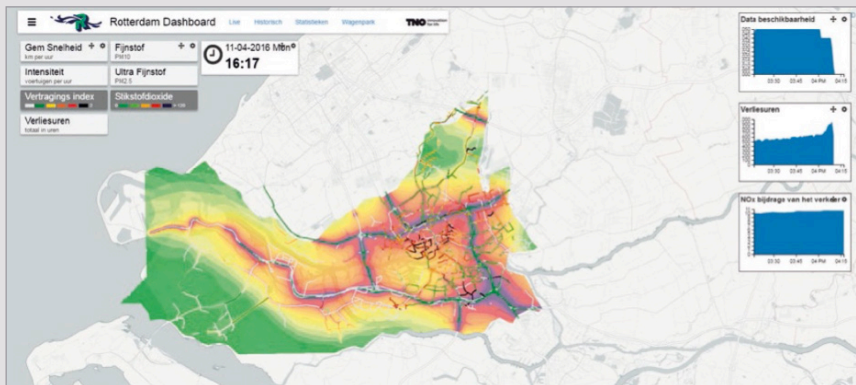
twee grote uitdagingen. De eerste gaat over de vraag hoe het systeem zodanig kan worden ingericht dat de mobiliteitsdienst een passend aanbod kan doen voor de totale groep mobiliteitsgebruikers. De tweede uitdaging is van bestuurlijke aard. Wie garandeert dat de uitkomst van het systeem ook in het publiek belang is? Met andere woorden, er moeten voldoende interventies en bijsturingmogelijkheden worden ingebouwd waarmee de concessieverlener of stadsbeheerder optimalisering van duurzame en maatschappelijke opbrengsten kan garanderen.

De wensenlijst van de gebruiker is in de afgelopen jaren steeds langer geworden. Van 'vandaag besteld, morgen in huis' in de logistieke sector, tot verschillende optimalisatiemogelijkheden voor routes in navigatiesystemen (eco, toeristisch, snel, kort etc.). De informatie die beschikbaar is over luchtverontreiniging en geluidsoverlast, maken het de gebruiker mogelijk ook met deze aspecten rekening te houden bij het zoeken naar een geschikte route. Een lange wensenlijst hoeft overigens geen belemmering te zijn voor een efficiënt mobiliteitssysteem. Het is wel van belang dat de gebruiker geen keuze wordt opgedrongen. Een onlinebestelling kan wellicht een aantal dagen later efficiënter worden bezorgd (ook hier biedt economiseren op dit niveau mogelijkheden). 'Morgen in huis' hoeft in sommige gevallen helemaal niet. Voor de logistiek geldt dat pakketjes zich (door middel van gedistribueerde intelligentie) met hun 'wensen' en 'randvoorwaarden' daadwerkelijk zelf gaan mengen in het logistieke systeem.

Experts verwachten dat duurzaamheid in de wensenlijst van de gebruiker een steeds belangrijker plek gaat innemen. Door hierop de juiste indicatoren te ontwikkelen en informatie openbaar te maken, kunnen gebruikers inzicht krijgen in een duurzame afhandeling van hun logistieke vraag en mobiliteitsvraag.

### Voorbeeld Dashboard Rotterdam

Wanneer een gemeente de oorzaken van luchtverontreiniging real time in kaart heeft, zijn daarop direct maatregelen te nemen. Het stadsdashboard is een onderdeel van een instrument dat TNO de afgelopen jaren tot een hoog niveau heeft ontwikkeld: Urban Strategy. Hierin hebben we al onze modellen over mobiliteit, verkeer, luchtkwaliteit en geluid gebundeld. Daardoor kunnen we niet alleen toekomstscenario's, maar ook direct te treffen maatregelen razendsnel doorrekenen. Steden hebben vaak onvoldoende inzicht in de logistieke stromen in en rond hun stad - en de gevolgen daarvan - en dat maakt het moeilijk adequate maatregelen te treffen. Het dashboard toont real time alle relevante gegevens over mobiliteit, logistiek en luchtkwaliteit.



De ervaringen worden nu uitgebreid met de ontwikkeling van een open platform en simulatietool voor Smart Mobility, genaamd SimSmartMobility, samen met de TU Delft en het programma Connecting Mobility (ministerie van IenM). Hiermee wordt het mogelijk om snel inzicht te krijgen in bijvoorbeeld de impact van Smart Mobilitydiensten op bereikbaarheid of verkeersveiligheid in een bepaalde stad of regio. Smart Mobility is het inzetten van informatie- en communicatietechnologie voor innovatieve mobiliteitsoplossingen, met als doel de bereikbaarheid, veiligheid en de leefbaarheid te verbeteren. Smart Mobility gaat over zowel de zelfrijdende auto, deelauto's, als bijvoorbeeld nieuwe ov-oplossingen en informatisering van de auto. Op basis van het verzamelen, verwerken en uitwisselen van informatie worden zowel het voertuig als systemen langs de kant van de weg (verkeerslicht, verkeersinformatiesysteem) 'slimmer' gemaakt. Ook worden op basis van deze informatie mobiliteitsdiensten ontwikkeld, die gebruikers via hun auto of met een smartphone gebruiken. De SimSmartMobility simulatietool moet al in een vroeg stadium van de ontwikkeling inzicht geven in de potentie van Smart Mobilitydiensten.

Bron: Brochure Stadsdashboard (TNO)

## TRENDS IN MEER DETAIL

### DE TOEKOMSTIGE VRAAG NAAR VERPLAATSING

Hoeveel mobiliteitsstromen zijn er in de toekomst nog nodig en wat wordt er precies verplaatst? De recent uitgebrachte WLO-scenario's van het CPB en PBL laten voor personenvervoer bijvoorbeeld zien dat zowel het aantal verplaatsingen als de reisduur in 2050 ongeveer op het huidige niveau zullen liggen.

Er is wel een aanzienlijke groei van het aantal afgelegde kilometers te verwachten<sup>7</sup>. Het CPB en PBL hebben becijferd dat het aantal afgelegde kilometers in 2050 tussen de 15 en 30 procent meer zal zijn dan in 2010. Kijken we naar het binnenlandse goederenvervoer – wat voor stedelijke bereikbaarheid van groot belang is - dan zien we een nog grote onzekerheidsmarge. In het lage scenario zal het aantal goederenritten gelijk blijven, terwijl in het hoge scenario het aantal ritten tot 2050 met 25 procent zal toenemen<sup>8</sup>.

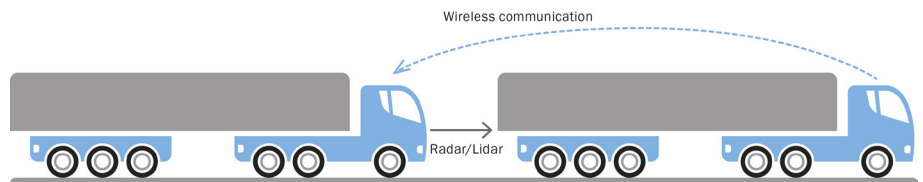
7 CPB & PBL (2015). Toekomstverkenning Welvaart en Leefomgeving. Achtergronddocument Binnenlandse Personenmobiliteit. Den Haag: Centraal Planbureau en Planbureau voor de Leefomgeving.  
8 CPB & PBL (2015). Toekomstverkenning Welvaart en Leefomgeving. Achtergronddocument Goederenvervoer en zeehavens. Den Haag: Centraal Planbureau en Planbureau voor de Leefomgeving.

Maar waar zitten de grote onzekerheden en eventuele gamechangers die de vraag naar verplaatsing drastisch kunnen wijzigen?

3D printen wordt vaak gepresenteerd als disruptieve technologie. Geldt dat ook voor de invloed op mobiliteitspatronen? Dat is moeilijk te voorspellen. Waarschijnlijk zit de consequentie eerder in een verschuiving naar meer vervoer van laagwaardige stromen en minder van halffabricaten of producten<sup>9</sup>. Het zou echter ook kunnen betekenen dat er meer vervoer op bestelling gaat plaatvinden. Daarmee wordt de uitdaging groter om logistieke bewegingen te bundelen. Een bijkomende onzekerheid is dat we op dit moment niet weten voor welke producten 3D printen daadwerkelijk een uitkomst biedt. Dat maakt het onmogelijk exact aan te geven welke conventionele productieprocessen en goederenstromen wezenlijk zullen veranderen.

E-commerce heeft in de afgelopen jaren een enorme vlucht genomen. Deze trend heeft gezorgd voor extra vervoersbewegingen in de stedelijke omgeving (*last mile*-transport) en heeft ook enorme potentie voor een duurzame stedelijke logistiek. Schonere, elektrische voertuigen zijn bij uitstek geschikt om deze snelle, korte afstanden te berijden.

De zelfrijdende auto kan het straatbeeld op termijn aanzienlijk gaan veranderen. Stel je voor dat er in de toekomst alleen nog taxi's of busjes zonder chauffeur rijden. De ruimte in de stad die nu nog voor parkeren is gereserveerd zal drastisch verminderen. En hoewel er nieuwe ruimten moeten ontstaan om mensen af te zetten en in te laten stappen, zal de zelfrijdende auto per saldo een positieve impuls kunnen geven aan de leefbaarheid van de publieke ruimte in de stad en bovendien ruimte maken voor fietsers en voetgangers. Hoe snel de zelfrijdende auto op grote schaal zijn intrede zal doen, is niet goed te voorspellen. De uitkomsten van een recente scenariostudie laten zien dat zelfrijdende auto's, als ze commercieel kunnen concurreren met conventionele auto's snel de markt zullen overnemen. Het moment waarop ze tegen een concu-



Figuur 2 - truck platooning (TNO White Paper, 2016)

rerende prijs op de markt komen, wordt verwacht ergens tussen 2025 en 2045<sup>10</sup>.

Autodelen is de afgelopen jaren, zeker in de grote steden, populair. Hoewel het nog om een bescheiden fenomeen gaat, zou het in de stedelijke omgeving tot volle ontwikkeling kunnen komen. PBL-onderzoek in Nederland laat zien dat autodelen leidt tot een daling van het autobezit en autogebruik. Het leidt daarnaast tot minder parkeerdruk in de stad<sup>11</sup>. De OECD<sup>12</sup> heeft geconcludeerd dat volledig overschakelen op zelfrijdende gedeelde auto's in de stad (modelstad Lissabon), resulteert in 95 procent minder parkeerplaatsen, 3 procent afname van de huidige autovloot en een reductie van 37 procent voertuigkilometers. De prijs van het woon-werkverkeer kan met 50 procent dalen. Vanwege het intensiever gebruik van de voertuigen en kortere afschrijvingstermijn kan sneller worden ingespeeld op nieuwe CO<sub>2</sub>-reducerende technieken.

Accuontwikkelingen. De ontwikkelingen op het gebied van accu's voor elektrisch vervoer zijn moeilijk te voorspellen. Het is niet onmogelijk dat op korte termijn een accu beschikbaar komt die de bezwaren van elektrisch rijden ruimschoots weg kan nemen. Veel emissiegerelateerde argumenten om auto's en logistieke voertuigen uit de (binnen)steden te weren komen dan te vervallen. Congestie en veiligheid blijven dan de belangrijkste argumenten voor een duurzaam stedelijk mobiliteitsbeleid.

### NAAR EEN EFFICIËNTE MODALITEITSKEUZE

Het totale mobiliteitssysteem bestaat uit verschillende modaliteiten, zoals de fiets, openbaar vervoer, auto, binnenvaart en de zeevaart. Het vervoer van personen en goederen is nu relatief statisch verdeeld

over deze verschillende modaliteiten.

Het is een complexe opgave om grote veranderingen teweeg te brengen in deze verdeling, een *modal shift*. Vooral het terugdringen van autogebruik, ten faveure van low-carbontransport kan niet zonder forse restricties, prijsverhoging en lagere maximumsnelheden<sup>13</sup>.

Wat betreft dit samenhangende systeem van modaliteiten zijn er drie belangrijke toekomstige ontwikkelingen. Allereerst staan we voor de uitdaging om de afzonderlijke modaliteiten te optimaliseren en efficiënter te maken. De verbetering van de 'afzonderlijke' haarkvaten van het systeem levert als zodanig een betere ontsluiting van het gehele systeem op.

Een interessant voorbeeld van een dergelijke optimalisatie is de recente ontwikkeling rondom *truck platooning*. Figuur 2 laat dit concept zien.

*Truck Platooning* werkt op basis van Vehicle-2-Vehiclecommunicatie (Wifi) waarbij vrachtwagens dicht op elkaar in een trein rijden. De voorste vrachtwagen bepaalt het tempo. *Platooning* zorgt voor minder congestie, betere benutting van het wegennet, minder CO<sub>2</sub>uitstoot en een betere veiligheid. *Full automation* (level 5) is nog interessanter voor het professionele vervoer vanwege de grote kostenreductie die wel 50 procent van de operationele kosten kunnen zijn. Een dergelijke kostenreductie kan een omvangrijke *modal shift* tot gevolg hebben.

Een tweede strategie om het totale mobiliteitssysteem te optimaliseren betreft het structureel beïnvloeden van de modaliteitskeuze. In dit kader zijn vooral de stedelijke beleidsinspanningen belangrijk om autoverkeer te ontmoedigen en het

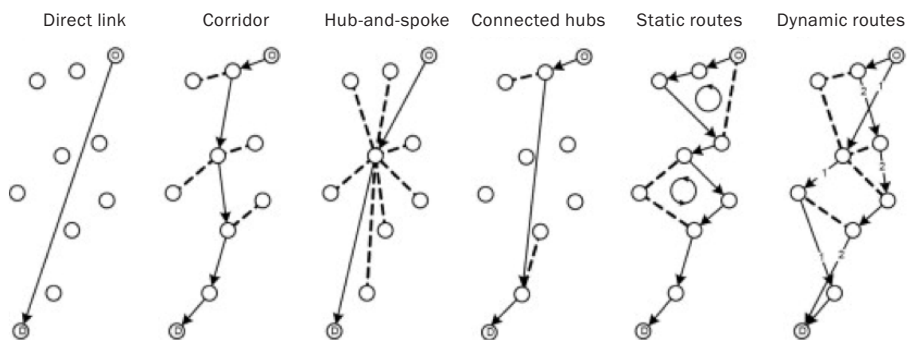
9 Zie noot 5.

10 Milakis, D., Snelder, M., van Arem, B., van Wee, B., Correia, G., (2015). *Development of automated vehicles in the Netherlands: scenarios for 2030 and 2050*. Delft: Delft University of Technology.

11 Nijland H., A. Hoen, D. Snellen & B. Zondag (2012). *Elektrisch rijden in 2050, gevolgen voor de leefomgeving*. Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.

12 OECD (2016). *Shared mobility. Innovation for liveable cities*. Corporate Partnership Board Report.

13 Bleijenberg, A. (2012). *Wishful thinking in Transport Policy* (hoofdstuk 6, pp. 135-150) in Van Wee, B. (eds) *Keep Moving, Towards Sustainable Mobility*. Den Haag: Rli, EEAC & Eleven International Publishing.



Figuur 3 - mobiliteitssystemen en routes

gebruik van de fiets en het openbaar vervoer te stimuleren. Steeds meer steden kiezen voor het weren van auto's uit de binnenstad door ontmoedigingsbeleid of verbod. Voorbeelden zijn attractieve alternatieven zoals light rails, metro's en goede busverbindingen<sup>14</sup>. Voorspelbare reistijd wordt de voornaamste reden om voor alternatieve modaliteiten te kiezen.

De nieuwste ontwikkelingen vinden plaats onder de noemer 'synchromodaliteit'. Synchromodaliteit kiest voor een bepaalde vervoersbeweging op voorhand geen bepaalde modaliteit en sluit er ook geen uit. Dit concept wordt nu vooral getest in de logistieke sector, maar is ook waardevol voor personenmobiliteit. Afhankelijk van de wensen en de specifieke omstandigheden wordt real time gekozen voor de trein, de auto, de vrachtwagen etc. Tijdens de route kan van modaliteit of route gewisseld worden, naar gelang de omstandigheden daartoe aanleiding geven. In figuur 3 is de ontwikkeling en inrichting van het mobiliteitssysteem weergegeven<sup>15</sup>.

### FLEXIBELE INFRASTRUCTUUR

Naast de toekomstige mobiliteitspatronen en ICT-ontwikkelingen, is de infrastructuur van een stedelijk gebied essentieel voor bereikbaarheid. Infrastructuur - wegen, fietspaden, tram- en busbanen, spoorwegen - neemt veel stedelijke ruimte in. Deze lijninfrastructuur heeft daarnaast vaak een sterk doorkruisende werking, waardoor steden ongewenst in meerdere, sociaal geïsoleerde, delen worden opgesplitst. Toekomstige infrastructuur wordt multifunctioneler. Zowel gebruik als onderhoud zijn op dit moment nog onvoldoende flexibel. Daar ligt een grote innovatieve designopgave.

We zien nu al dat op bepaalde trajecten rijstroken dynamisch gebruikt kunnen worden, de zogenoemde spitsstroken en wisselbanen. De komst van de zelfrijdende auto, geavanceerde *Vehicle-2-Vehicle* en *Vehicle-2-Infrastructure* communicatie maken het mogelijk om de infrastructuur volledig dynamisch te gaan gebruiken. Gebruik de vierkante meters wegoppervlak zo flexibel mogelijk. De functie van geregelde kruispunten en belijning zal in de toekomst veranderen, of zelfs geheel vervallen. Real time wordt beschikbare ruimte toegedeeld aan de vervoermiddelen die er op dat moment gebruik van moeten maken. Vanuit dit oogpunt is het zeer de vraag wat de toekomst van traminfrastructuur is. Trambanen zijn een voorbeeld van zeer inefficiënte en niet-flexibele *dedicated lanes*. Overigens is het een grote uitdaging om een dergelijke infrastructurele

flexibiliteit toch voor bepaalde gebruikers te prioriteren, bijvoorbeeld voor hulpdiensten. Daarvoor is *echte* real time bijsturing van het systeem nodig.<sup>16</sup> Een andere uitdaging die hiermee gepaard gaat, is van organisatorische aard. Het is niet ondenkbaar dat het toekomstige systeem prijsmechanismen introduceert die voorrang en snelheid reguleren op het niveau van individuele vervoersstromen.

Infrastructuur wordt multifunctioneel. Dat heeft niet alleen te maken met flexibele benutting door meerdere modaliteiten. De beperkt beschikbare ruimte in de stad maakt het noodzakelijk dat infrastructuur meervoudig ontworpen wordt. Meervoudigheid in de zin dat de ruimte niet alleen mobiliteitsbewegingen accomodeert, maar ook een fijne verblijfplaats is met 'avenue- en boulevardconcepten'. Op dit snijvlak van mobiliteit en verstedelijking spelen de begrippen 'plaatswaarde' en 'knoopwaarde' een belangrijke rol. Een locatie heeft een waarde als plek om te zijn en een waarde in het mobiliteitssysteem als (multimodaal) knooppunt. In veel gevallen gaat plaatswaarde ten koste van de knoopwaarde, en andersom. We zien dat plaatswaarde en knoopwaarde steeds meer complementair worden aan elkaar.

### Internationale ambities voor stimulering ov

The UITP, the international federation of public transport companies, set the ambitious goal of doubling its transport share by 2025. This target must be attained through a series of some 350 new climate initiatives among 110 public transport companies across the globe. In addition, 23 major cities signed the C40 "Clean Bus Declaration". This declaration aims to be a catalyst for cleaner bus traffic. The target: increasing the number of clean buses in the bus fleet by one quarter by 2020.

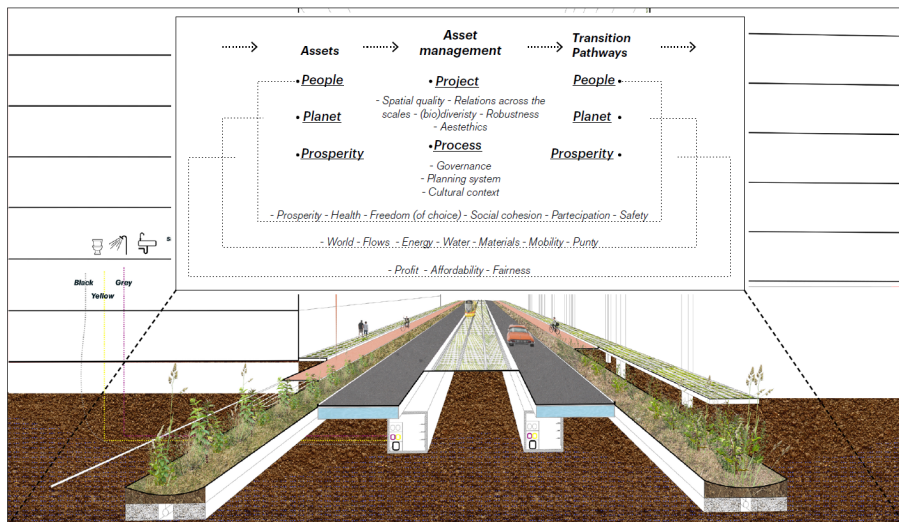
In many countries, the use of bicycles fell sharply as prosperity grew. Now that cities make an effort to remain accessible, reduce air pollution and contribute to combating climate change, the bicycle is making a comeback. The World Cycling Alliance (WCA) and the European Cyclists' Federation (ECF) have committed to promoting bicycle transport, through their organisations, in as many cities as possible, and to doubling the number of bicycle movements in Europe by 2020. This requires a great deal of effort. European cities such as Paris, Barcelona and Berlin have introduced popular rental bike systems, and even New York has built separate bicycle lanes for cyclists. Such investments in bicycle infrastructure have laid the foundation for achieving the intended share of bicycles particularly in urban movements. This does not just involve passenger transport, but also, for example, messenger services and bicycle taxis.

Bron: Ministerie van IenM (2015). *Around the world in eighty days*.

14 Ministerie van Infrastructuur en Milieu (2015). *Around the world in eighty days*, Den Haag: Ministerie van Infrastructuur en Milieu.

15 SteadieSeifi, M., Dellaert, N. P., Nuijten, W., Van Woensel, T., & Raoufi, R. (2014). *Multimodal freight transportation planning: A literature review*. *European journal of operational research*, 233(1), 1-15.

16 Goodwin, P. (2012). *Keep Moving Towards Sustainable Mobility - What Does It Mean?* (hoofdstuk 1, pp. 11-22) in Van Wee, B. (eds) *Keep Moving, Towards Sustainable Mobility*. Den Haag: Rli, EEAC & Eleven International Publishing.



Figuur 4 - horizontale en verticale infrastructuurbenadering (TU Delft: Hooimeijer, Bacchin, Lafleur, 2016)

Daarnaast speelt de infrastructuur een steeds grotere rol in de energie- en klimaatdomeinen. Wegen worden gebruikt om energie op te wekken, bijvoorbeeld door zonnecollectoren te integreren of warmte uit het wegdek terug te winnen. Dat vraagt om een 'verticale' benadering van lijninfrastructuur die nadrukkelijk ook de ondergrond in het ontwerp meeneemt (zie figuur 4). Waterberging, door klimaatverandering een cruciaal element in stedelijke planning, zal in de toekomst ook steeds meer onder het infrastructuuroppervlak kunnen plaatsvinden.

Niet alleen ontwerp, maar ook beheer en onderhoud zijn aan innovatie onderhevig. Op de korte en middellange termijn hebben we in Nederland te maken met een omvangrijke opgave om de verouderde infrastructuur te vervangen. Dat biedt kansen voor het implementeren van nieuwe technieken, bijvoorbeeld in relatie tot duurzame energie. Ook kunnen fijnmazig sensorische netwerken in de infrastructuur het mogelijk maken om precies op het juiste moment preventief onderhoud te doen, waardoor groot onderhoud uitgesteld of zelfs voorkomen kan worden. De bereikbaarheid van steden wordt hierdoor verbeterd omdat het aantal verkeersinfarcten door onderhoud en wegafsluiting vermindert. Daarnaast zorgt dergelijke sensoriek voor een veilige infrastructuur die bovendien zeer duurzaam is. Door real time assetmanagement blijft de infrastructuur optimaal bruikbaar. Vanuit het oogpunt van circulaire economie is verlenging van levensduur te prefereren boven vervanging.

### DE INVLOED VAN VERSTEDELIJKINGSBELEID

Technologische ontwikkelingen gaan het mobiliteitssysteem veranderen en zullen in de toekomst zeker van invloed zijn op de bereikbaarheid van stedelijke regio's. Het is echter niet alleen deze vooruitgang die bepaalt hoe bereikbaar onze steden zullen zijn. Een cruciale component is de inrichting van de stad (zie figuur 5). Hoe situeren we ruimtelijke functies – zoals wonen, werken, recreëren – ten opzichte van elkaar? Welke mobiliteitsstromen komen daarmee op gang? Stedelijke bereikbaarheid is deels afhankelijk van dit ruimtelijkeordeningsbeleid. Het gaat dan bijvoorbeeld om

concepten als bundeling, knooppuntontwikkeling, *transit-oriented development*, functiemenging en stedelijke inrichting<sup>17</sup>. Ondanks dat er nog geen robuuste wetenschappelijke consensus is over de precieze consequenties van wat in vakjargon *urban form* wordt genoemd op de mobiliteitsbewegingen<sup>18</sup>, ligt er een belangrijke uitdaging om de waarde van het instrument 'ruimtelijke ordening' voor een duurzame stedelijke bereikbaarheid verder uit te diepen en te benutten<sup>19</sup>. Het gaat dan voornamelijk om ingrepen zoals stedelijke transformatie en – verdichting, meervoudig ruimtegebruik, autovrije zones, en innovatief ontworpen straten voor ov, fietsers en voetgangers. In hoeverre vergroten die de bereikbaarheid van de stad? Er liggen kansen voor de ontwikkeling van gebruiksvriendelijke methoden om de relatie tussen ruimtelijke ordening, mobiliteitsbewegingen en bereikbaarheid te analyseren en voor beleidsmakers inzichtelijk te maken. Zo kunnen zij experimenteren met nieuwe handelingsperspectieven.

Handelingsperspectieven voor gebruikers en bereikbaarheidsbelangen zullen een grotere rol gaan spelen in het ruimtelijkeordeningsbeleid. Het is goed denkbaar dat er een duidelijke scheiding komt van enerzijds transport- en mobiliteitsstromen tussen stedelijke regio's en anderzijds bestemmingsverkeer en stedelijke logistiek.



Figuur 5 - ICT ontwikkelingen in de mobiliteit en logistiek

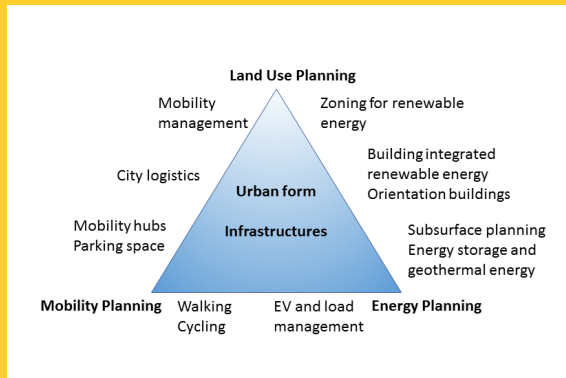
17 Verrips, A.S. & A. Hoen (2016). *Kansrijk Mobiliteitsbeleid*. Den Haag: Centraal Planbureau en Planbureau voor de Leefomgeving.  
 18 Stead, D. (2016). *Identifying key research themes for sustainable urban mobility*. *International Journal of Sustainable Transportation*, 10:1, 1-8.  
 19 Van Wee, B. & Handy, S. (2016). *Key research themes on urban space, scale, and sustainable urban mobility*. *International Journal of Sustainable Transportation*, 10:1,18-24.

### Voorbeelden van cross-sectorale integratie

#### Elektrische voertuigen die opladen als ze over het wegdek rijden

Er is meer behoefte aan een integrale stedelijke benadering van mobiliteit, energie en ruimtelijke ordening. Deze drie beleidsvelden vertonen steeds vaker overlap, voornamelijk door de duurzame energietransitie en daarmee gepaard gaande decentralisatie van het energiesysteem. De elektrificatie van verschil-

lende modaliteiten vraagt daarnaast extra capaciteit en stelt randvoorwaarden aan de stedelijke energie-infrastructuur. Het gaat hier dus niet alleen om integratie binnen de keten (verticale integratie) maar voornamelijk om de cross-sectorale integratie van domeinen (horizontale integratie). Integratie van projecten, plannen en procedures is een vereiste om een politiek-organisatorisch antwoord te kunnen geven op maatschappelijk-technische vraagstukken.



Verbindingen tussen ruimtelijke ordening, energie- en mobiliteitsplanning (TNO, 2016)

Zo'n systeem ontlast het stedelijk gebied door vermindering van geluidsoverlast en luchtvervuiling. Het maakt het mogelijk om een fijnmazig, duurzaam stedelijk distributienetwerk te verzorgen dat gebruikmaakt van kleine, milieuvriendelijke voertuigen. Een netwerk dat vanuit een of meerdere punten beheerd en gecoördineerd wordt

zodat congestie zoveel mogelijk voorkomen kan worden. Een dergelijke scheiding vraagt wel om opslag- en overslagpunten en multimodale knooppunten aan de randen van de stad. Het is aan planologen en stedelijke ontwerpers om dit soort locaties te zoeken, vorm te geven en in te bedden in het stedelijk weefsel.

### HANDEN AAN HET STUUR

In dit paper staat centraal dat door verscheidene ontwikkelingen in ICT en netwerktechnologie de stedelijke infrastructuur één groot systeem wordt (een fysiek internet) en dat de gebruiker van dat systeem een belangrijker positie krijgt. Dat gaat dat allemaal vanzelf. Het organisatievraagstuk is minstens zo belangrijk als de technische ontwikkelingen. We zien een aantal uitdagingen.

Een *urban operating system* draait op een grote hoeveelheid (open) data. De beschikbaarheid van data is een enorme meerwaarde ten opzichte van een decennium geleden. Tegelijkertijd moeten we voorzichtig zijn. De kwaliteit en bruikbaarheid van deze data varieert en systemen die de data analyseren en bewerken kunnen gevoelig zijn voor inbraak. Een stedelijke infrastructuur die afhankelijk is van open en onbeschermd data is een groot risico. De grote uitdaging is om van de omvangrijke hoeveelheid open en onbeschermd data naar daadwerkelijk bruikbare, betrouwbare en veilige informatie te komen, zonder dat het de real time toepasbaarheid verliest. Cyber security wordt steeds belangrijker.

Een *urban operating system* is afhankelijk van menselijke aansturing. In een dergelijk systeem zullen partijen altijd moeten samenwerken: data delen, interoperabiliteit garanderen en multidisciplinaire projecten initiëren. Daarnaast is gedragsverandering een belangrijk aspect. We weten uit onderzoek dat een deel van deze verandering door prijsprikkels te bereiken is. Een ander deel zal moeten worden opgelegd, met wet- en regelgeving. Het ideaal is een op gedistribueerde intelligentie gebaseerd zelflerend en zichzelf organiserend systeem, waarin de noodzaak tot centrale afstemming steeds minder wordt.

De bereikbare stad van de toekomst is meer dan een systeemvraagstuk. Er is een vorm van regie nodig. Wie beslist er bijvoorbeeld over de architectuur van een dergelijk systeem? Wie garandeert dat verschillende systemen compatibel zijn en met elkaar kunnen communiceren? Wie neemt de verantwoordelijkheid voor de risico's van het niet functioneren ervan? En wie begeleidt de omvangrijke transitie van het ene systeem naar het andere.





### Voorbeeld Praktijkproef Amsterdam

TNO is met een groot aantal partners betrokken bij de Praktijkproef Amsterdam. Dit is een grootschalige test met de nieuwste innovaties in de auto en op de weg. Nergens ter wereld wordt intelligente technologie op het gebied van verkeersmanagement op zo'n grote schaal getest in het dagelijkse verkeer. Dus met echte auto's en echte weggebruikers in de drukke Amsterdamse regio. Het doel van de praktijkproef is om stapsgewijs toe te werken naar een toekomst waarin auto's, verkeerslichten en informatieborden digitaal met elkaar zijn verbonden en volledig samenwerken. Zo draagt de proef bij aan een betere doorstroming van het verkeer, minder files en een schonere stad ([www.praktijkproefamsterdam.nl](http://www.praktijkproefamsterdam.nl)).



Experimenten als de Praktijkproef Amsterdam zijn stappen in de richting van een fysiek internet. Auto's, infrastructuur en verkeerssystemen die continu met elkaar communiceren.

*Anticipating governance* houdt in dat je al begint met organiseren zonder dat je in detail weet wat er gaat komen. Hiermee geef je jezelf de kans om te sturen en ongewenste zaken alvast te voorkomen in regelgeving.

Systeemvraagstukken vragen omvangrijke investeringen. Om desinvesteringen te voorkomen kan het noodzakelijk zijn dat een overheid expliciet kiest voor een technologie, zodat andere partijen hun investeringen volledig op die specifieke technologie kunnen richten. Als het gaat om de zelfrijdende auto is de keuze voor *in-car* technologie of kant-waltechnologie cruciaal. Beide systemen ontwikkelen en naast elkaar gebruiken is onnodig duur. De keuze voor een systeem zou idealiter zelfs op internationale schaal gemaakt moeten worden.

Een belangrijk aspect voor de komende jaren is de versnelling van het innovatieproces (exponentieel). Dit zorgt ervoor dat steeds geanticipeerd moet kunnen worden op mogelijke gamechangers die een geheel nieuwe dynamiek veroorzaken.

### SAMENVATTEND - TNO EN DE BEREIKBAARHEID VAN DE STAD

Om de stad in de toekomst bereikbaar te houden is een omvangrijke transitie nodig. Implementatie van nieuwe technieken in

infrastructuur en voertuigen, gedragsverandering, innovatief beleid en ontwerp. Het netwerk wordt groter en complexer. Dat legt het spanningsveld bloot tussen sturing en zelforganisatie, en tussen optimalisatie van onderdelen en van het gehele systeem. Samenwerking tussen actoren om uitwisseling van informatie te borgen is cruciaal, net als samenwerking en communicatie tussen verschillende systemen. Het bereikbaar houden van steden is daarmee ook en vooral een *governance*-uitdaging.

Het werkveld van TNO bevindt zich tussen technische innovatie, beleidsontwikkeling en logistieke partijen en mobiliteitspartijen. Wij verbinden partijen met elkaar en gidsen ze door de verschillende stappen van een gezamenlijk proces om tot een duurzame mobiliteit en bereikbare stad te komen. Als onafhankelijke innovatiepartner hebben wij zicht op stappen die op korte termijn en op de lange termijn genomen moeten worden. Vooral de afstemming tussen verschillende projecten en investeringen is van cruciaal belang. Met behoefteonderzoek, het doorrekenen van effecten van maatregelen en het ontwikkelen van logische beslissingskaders zorgen wij voor een gefundeerde keuze voor kansrijk mobiliteitsbeleid.

### MET DANK AAN:

Lori Tavasszy  
Jan Burgmeijer  
Maaïke Snelder  
Mirjam van Iterson  
Hans Quack  
Marco Duijnsveld  
Natascha Agricola  
Ralph Klerx

TNO.NL

### LEEFOMGEVING

Vanuit het thema Leefomgeving dragen wij bij aan innovaties voor vitale stedelijke regio's. Wij werken met partners aan oplossingen van vandaag en kansen voor morgen om leefbaarheid, bereikbaarheid en concurrentiekracht van deze stedelijke regio's te versterken.

### AUTEUR

Dhr. A.K. (Alexander) Woestenburg

### CONTACT

**Ir. L.J.J. (Leo) Kusters**  
Stieltjesweg 1  
2628 CK Delft  
T 088 866 20 20  
E [leo.kusters@tno.nl](mailto:leo.kusters@tno.nl)