



Ministerie van Infrastructuur
en Waterstaat

Essay: Interacties tussen de netwerken voor energie, mobiliteit en ICT

Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid

Saeda Moorman

April 2022

Het Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid (KiM) maakt analyses van mobiliteit die doorwerken in het beleid. Als zelfstandig instituut binnen het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (IenW) maakt het KiM strategische verkenningen en beleidsanalyses. De inhoud van de publicaties van het KiM hoeft niet het standpunt van de minister en de staatssecretaris van IenW weer te geven.

Inhoud

Samenvatting—4

Inleiding—6

- 1. Terminologie/begrippenkader—10**
- 2. Soorten afhankelijkheden—13**
- 3. Conceptueel model en 2 concrete voorbeelden—17**
- 4. Kansen zoeken vanuit specifieke afhankelijkheden—21**
- 5. Welke afhankelijkheden brengen bedreigingen met zich mee?—22**
- 6. Conclusies—24**

Referenties—25

Bijlage A: De 5 functies in meer detail—27

Bijlage B: Kansen zoeken vanuit 1 van de netwerken—28

Colofon—30

Samenvatting

Afdeling Strategie van DGMO heeft het KiM gevraagd om te verkennen welke kansen en bedreigingen voortkomen uit interacties tussen de netwerken voor energie, mobiliteit en ICT. En dan specifiek voor kerndomeinen van IenW (duurzaamheid, verkeersveiligheid, robuuste netwerken). Dit was geen eenvoudige opgave, omdat er ontelbaar veel interacties tussen deze 3 netwerken mogelijk zijn en deze interacties ook al alomtegenwoordig zijn. KiM heeft de vraag daarom opgevat als een vraag naar hoe je de 3 netwerken kunt beschrijven als een set *functies* en welke mogelijke *afhankelijkheden* er tussen deze functies zijn. Het essay beoogt een hulpmiddel te zijn om interacties tussen de 3 netwerken te verkennen gebaseerd op de functies in de netwerken. We laten in het essay zien dat het denkmodel van functies & afhankelijkheden richting kan geven aan het verkennen van kansen en bedreigingen voor IenW-beleidsterreinen.

Resultaten

1. We beschrijven de netwerken voor energie, mobiliteit en ICT aan de hand van 5 functies:
 - a. Geleverde **output** (het product of de dienst) van het netwerk, namelijk energie, mobiliteit en informatie,
 - b. **Productie** van 'dragers', d.w.z. datgeen wat beweegt door de netwerken. De productie is bijvoorbeeld elektriciteitsopwekking, fabricage van voertuigen, het genereren van data,
 - c. **Transport/distributie/opslag** van dragers: hier gaat het bijvoorbeeld om leidingen en kabels, internet, wegen,
 - d. De **dragers** zelf, dus datgeen beweegt door de netwerken, bijvoorbeeld waterstof, elektriciteit, voertuigen, bits en bytes,
 - e. **Faciliterende diensten**, zoals een reisinformatie-app, Mobility-as-a-Service, slim laden ('smart charging') van elektrische auto's.
2. De mogelijke *typen* interacties (afhankelijkheden) tussen de 3 netwerken hebben we ingedeeld in 7 hoofdgroepen, zonder de pretentie van volledigheid of een sluitende indeling. Afhankelijkheden sluiten elkaar onderling niet uit. Het gaat om deze 7:
 - a. **Fysiek**: een netwerk heeft fysieke (stoffelijke, objectief meetbare) input uit een ander netwerk nodig, bijvoorbeeld brandstof; ook elektrische energie rekenen we tot fysieke input,
 - b. **Cyber**: een cyberafhankelijkheid is virtueel, in abstracte cyberspace, en verloopt bijvoorbeeld via internet,
 - c. **Plaats**: bij plaatsafhankelijkheid delen netwerken op onderdelen dezelfde locatie, bijvoorbeeld een elektriciteitskabel die onder een brug doorloopt,
 - d. **Tijdschaal**: dit gaat over de tijdschaal waarop het ene netwerk input van het andere netwerk nodig heeft, bijvoorbeeld in real-time of op een termijn van uren, dagen, jaren,
 - e. **Frequentie**: dit gaat over hoe vaak een netwerk afhankelijk is van een ander, bijvoorbeeld alleen in specifieke (nood)situaties, alleen op piekmomenten, altijd,
 - f. **Flexibiliteit**: hoe star, dom of slim en flexibel is de afhankelijkheid tussen (functies in) de netwerken,
 - g. **Concentratie**: hoe sterk zijn de netwerken intern en onderling verknoopt, is er vrije toegang of is er exclusiviteit, is er sprake van machtconcentraties (monopolies, oligopolies).

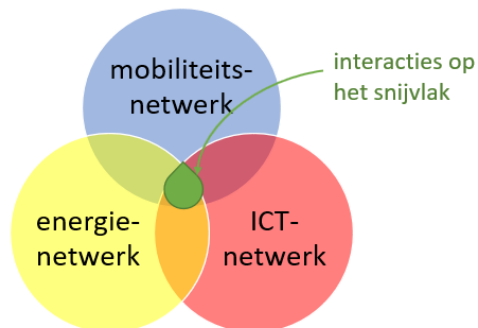
3. Kansen en bedreigingen: Bedreigingen komen bijvoorbeeld van een directe tijdsafhankelijkheid, cascadering van problemen (een probleem kan overslaan van het ene netwerk op het andere) en cybercriminaliteit (als gevolg van cyberafhankelijkheid). Kansen zijn: afstemming tussen netwerken via digitalisering (bijvoorbeeld *peak shaving* bij een mismatch tussen vraag en aanbod) en meervoudig ruimtegebruik voor betere kwaliteit van de leefomgeving. Afhankelijkheden kunnen aanwijzingen geven voor het voorkómen van bedreigingen.

Inleiding

Unit Strategie van het Ministerie van IenW heeft het KiM gevraagd verwachtingen in beeld te brengen over toekomstige ontwikkelingen in de interacties tussen 3 netwerken: voor mobiliteit, energie en ICT. Welke interacties vinden er op het snijvlak van die 3 netwerken plaats (zie figuur 1) en welke kansen en bedreigingen bieden die interacties voor duurzaamheid, leefbaarheid, verkeersveiligheid en robuustheid?

Gekscherend lijkt dit op een vraag in de categorie: "Hier zijn 26 letters, welke boeken verwacht je daarmee te kunnen schrijven?" Om niet te verzanden, hebben we de vraag opgevat als: welke typen interacties zijn er en hoe kan kennis over deze interacties helpen om kansen en bedreigingen te identificeren? We beogen met dit essay een hulpmiddel aan te reiken om over interacties tussen de 3 netwerken en kansen en bedreigingen te kunnen discussiëren.

Het ICT-netwerk bezien we breed, letterlijk als het informatie- en communicatienetwerk in de breedste zin. Dit gaat zowel om verzamelen, bewerken, verspreiden en toepassen van **informatie** in digitale vorm.



Figuur 1. Dit essay gaat over interacties op het snijvlak tussen 3 netwerken.

Interactie tussen de 3 netwerken is niet nieuw, maar wel anders dan vroeger

Interactie tussen de 3 netwerken (zie figuur 1) is niets nieuws. Mobiliteit betekent per definitie dat er iets verplaatst wordt en daarvoor is energie nodig. Als we het ICT-netwerk opvatten als de digitale variant van het, analoge, netwerk van informatie- en communicatiemiddelen zoals kranten, boeken, pamfletten en telegrafie, bestaat ook dit netwerk al lang. In het verleden vergde ook informatieverspreiding vaak mobiliteit, bijvoorbeeld in de vorm van een koerier.¹ Sinds de opkomst van de digitale informatiemaatschappij, in de 20^{ste} eeuw, is de interactie tussen de 3 netwerken nog sterker geworden dan die in het verleden al was. Het is moeilijk om een vorm van mobiliteit te bedenken waar geen energie- en ICT-netwerken aan te pas komen. Zelfs de meest simpele vorm van mobiliteit, lopen, gebeurt nogal eens met een stappenteller op je telefoon, die is opgeladen met elektriciteit. Tegelijk is de interactie tussen de netwerken vaak heel complex: netwerken kunnen binnen een ander netwerk geïntegreerd zijn, zonder dat we ons daarvan bewust zijn.

Voorbeeld 1. Een auto die waterstof tankt en met een brandstofcel elektriciteit produceert voor zijn elektromotor, heeft een vrijwel compleet energienetwerk

¹ Een eeuwenoud voorbeeld op het snijvlak van de 3 netwerken is de postkoets (=mobiliteit) die behalve personen en goederen ook post (=informatie) vervoerde en onderweg stopte op rust- en overstapplaatsen ofwel 'hubs' (=mobiliteit), waar paarden en reizigers werden gevoed (=energie).

aan boord: Alles van opwekking tot en met gebruik van de elektriciteit is er, alleen de waterstof wordt nog extern gemaakt.

Voorbeeld 2. Mobiliteit wordt meer en meer gestuurd via satellietnavigatie, sommige auto's hebben computers aan boord, mobiele telefoons geven reis- en routinformatie. Ook is mobiliteit steeds meer gekoppeld aan het internet, bijvoorbeeld om afstemming te organiseren tussen aanbieders en gebruikers van mobiliteit (verhuurbedrijven, digitale platforms). Bij een zelfrijdende auto zijn er honderden sensoren aan boord die informatie verzamelen voor het eigen datanetwerk en dataverwerkingsnetwerk.²

De 3 netwerken kennen elk een enorme variëteit in verschijningsvormen

Er is niet één energie- of mobiliteitsnetwerk, er zijn er vele. Er bestaan netwerken op kleine decentrale en grote centrale schaal, ze kunnen een korte of lange reactietijd en veel of weinig interacties met andere netwerken hebben, enzovoorts.

Voorbeelden. Een zonnepaneel op het dak van een huis levert elektriciteit aan het net; de huiseigenaar heeft een elektrische auto en een app op zijn smartphone waarmee hij ervoor kan zorgen dat zijn auto wordt opgeladen op het moment dat zijn panelen stroom leveren; de monteur die het pv-paneel installeert verplaatst zichzelf en zijn spullen met een bestelauto (en staat daarbij enige tijd in de file).

En de toekomst wordt nog complexer, met steeds nieuwe (technologische) mogelijkheden en het toenemen van interconnectiviteit (remote sensing, Internet-of-Things, 'global village'). Daarbij constateren verschillende auteurs (Den Hollander et al., 2017; T&E, 2020; Rli, 2021) dat digitalisering van de samenleving en mobiliteit niet automatisch winst oplevert voor duurzaamheid en leefbaarheid of deze zelfs onder druk zetten.

Vraagstelling

De oorspronkelijke vraag van Unit Strategie luidde:

Hoe zien (mogelijk toekomstige) interacties tussen de netwerken voor energie, mobiliteit en ICT eruit en welke kansen en bedreigingen leveren deze interacties op voor 4 kerndomeinen van IenW, te weten 1) duurzaamheid, 2) leefbaarheid – ingevuld als kwalitatief hoogwaardig ruimtegebruik, 3) verkeersveiligheid en 4) robuustheid van het mobiliteitsnetwerk. Hoe hangen de interacties samen met ruimtelijke aspecten?

Zoals al aangegeven in de inleiding hebben we in de interpretatie van de oorspronkelijke vraag een afbakening aangebracht. Door het oneindig mogelijke aantal combinaties tussen de 3 netwerken zou de vraag anders onbeantwoordbaar zijn. We hebben de vraag opgevat als een conceptuele vraag, een vraag naar handvatten om over interacties te kunnen discussiëren.

We hanteren deze centrale vraag:

Hoe kunnen we interacties tussen de 3 netwerken en de kansen en bedreigingen (op het gebied van duurzaamheid, leefbaarheid, verkeersveiligheid en robuustheid van netwerken) die met deze interacties samenhangen nader typeren?

Deze vraag hebben we opgesplitst in een drietal deelvragen:

1. Waaruit bestaan de netwerken voor energie, mobiliteit en ICT: welke *functies* zijn globaal te onderscheiden?
2. Wat zijn mogelijke *typen* interacties tussen de 3 netwerken en de functies uit deelvraag 1?

² Bron: Berdigh en El Yassini, 2018.

3. Wat voor *soort* kansen en bedreigingen kunnen de interacties uit deelvraag 2 met zich meebrengen?

In onze poging (*essay*) tot beantwoorden gebruiken we veel *voorbeelden (groen gemarkeerd in de tekst)*, zonder daarbij de pretentie van volledigheid te hebben. Voorbeelden kunnen fictief zijn. Ze hebben alleen als doel de mogelijke interacties voor de lezer beeldend te maken.

Scope en afbakening

Er zijn wetenschappelijk gezien ook andere manieren om relaties tussen netwerken in beeld te brengen, zoals systeemdynamica³. Het toepassen van systeemdynamica op de 3 netwerken is complex en kost veel tijd. Voor de eenvoud hebben we in dit essay ervoor gekozen om te werken met een simpel (en statisch) zelfontwikkeld model dat de 3 netwerken terugbrengt tot hun kern: wat zijn globaal de functies in elk netwerk, inclusief het product of de dienst die het netwerk uiteindelijk oplevert: energie, mobiliteit of digitale informatie in een bruikbare vorm.

We beschouwen de netwerken zelf als 'neutraal': ze hebben geen ander doel dan specifieke producten of diensten – in dit geval energie, mobiliteit of digitale informatie – te leveren. De gebruikers van deze output zien we als actoren buiten het netwerk; ze maken er dus geen deel van uit. Daarmee willen we niet het belang van gebruikers uitvlakken, zij bepalen immers mede welke functie van de netwerken gewenst is en of er maatschappelijk draagvlak is om eventuele kansen te benutten, maar dat zijn vragen die buiten de scope van deze korte notitie vallen.

In principe zijn alleen de interacties waarbij alle 3 de netwerken betrokken zijn relevant, dus het 'snijvlak' in figuur 1. Interacties binnen een netwerk of interacties waarbij maar 2 netwerken betrokken zijn, blijven buiten beschouwing. Ook interacties waarbij het ene netwerk het andere netwerk overbodig maakt - denk aan ICT die de plaats inneemt van mobiliteit, zoals bij thuiswerken – valt buiten de scope.

'Interactie' staat gelijk aan 'afhankelijkheid': een netwerk heeft input nodig uit een of meer andere netwerken (en de functies daarbinnen) om te kunnen functioneren. Als de afhankelijkheid 2 kanten op werkt – de netwerken hebben elkaar nodig - spreken we van onderlinge afhankelijkheden of *interdependencies*. Als netwerken samen werken aan hetzelfde doel heet dat *synergie*.

Voor de gevonden afhankelijkheden denken we na over wat voor soort kansen en bedreigingen ze voor IenW kunnen opleveren. Een kans is: de kans om resultaten te bereiken op de 4 genoemde IenW-terreinen. Bedreigingen zijn: problemen of calamiteiten die kunnen ontstaan uit een interactie tussen de netwerken.

Aanpak en wat levert dit essay op?

1. De eerste stap is de ontwikkeling van een **begrippenkader**, een **typologie van afhankelijkheden** en een **model van de netwerken en hun functies**.

Hiermee kunnen we de afhankelijkheden tussen de (functies in de) 3 netwerken meer systematisch aflopen en zoeken naar samenhangende kansen en bedreigingen. We hebben waar mogelijk gebruik gemaakt van literatuur (wetenschappelijke en grijze literatuur) om afhankelijkheden tussen netwerken, en samenhangende kansen en bedreigingen, in beeld te krijgen. Die literatuur bleek overigens vrij schaars, zeker op het gebied van het snijvlak van de 3 netwerken.

³ Zie bijvoorbeeld https://en.wikipedia.org/wiki/System_dynamics of <https://www.managementimpact.nl/artikel/systeemdynamica-inzicht-in-de-dynamiek-van-systemen/>.

2. De tweede stap is het **toepassen** van het model uit stap 1 op een aantal eenvoudige **voorbeelden** om te laten zien hoe het model te gebruiken is. De voorbeelden komen uit literatuur en van internet, maar ook uit eigen ervaring en ideeën. Ze kunnen dus ook fictief zijn.
3. Als derde stap zoeken we, weer aan de hand van voorbeelden, naar (de soorten) **kansen en bedreigingen** die kunnen voortkomen uit interacties tussen de 3 netwerken.

Opbouw van het essay

De rest van dit essay heeft de volgende opbouw:

Stap 1	1. Terminologie/begrippenkader,
	2. Soorten afhankelijkheden,
Stap 2	3. Conceptueel model en 2 concrete voorbeelden,
Stap 3	4. Kansen zoeken vanuit specifieke afhankelijkheden,
	5. Welke afhankelijkheden brengen bedreigingen met zich mee,
	Conclusies
	Referenties
	Bijlage A: 5 functies in meer detail
	Bijlage B: kansen zoeken vanuit 1 van de netwerken

1. Terminologie/begrippenkader

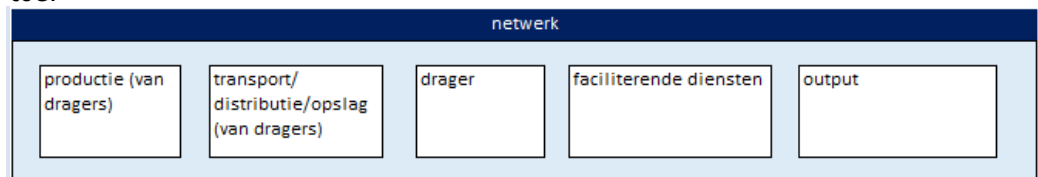
Om interacties tussen de netwerken te kunnen beschrijven en analyseren gebruiken we de volgende abstracties en begrippen.

Wat is een netwerk?

Een netwerk vatten we op als een verzameling 'functies', die samen het product of de dienst van het netwerk opleveren: de output. Bij het energienetwerk is de output energie in bruikbare vorm, bij mobiliteit is de output het verplaatsen van personen en goederen, en bij ICT is de output informatie in digitale vorm.

Onderdelen/functies van een netwerk

Behalve de output heeft een netwerk ook 4 interne functies (functionaliteiten). Samen zijn er dus 5 functies, zie figuur 2. Onder de figuur lichten we de 5 functies toe.



Figuur 2. De 5 functies per netwerk.

Productie van dragers: De drager is hetgeen zich verplaatst in het netwerk (zie bij drager). De dragers komen niet van nature voor, maar moeten ergens gegenereerd of geproduceerd worden. Hiervoor is de functie **productie van dragers** nodig. In het energiesysteem gebeurt dit met een elektriciteitscentrale, windturbine, raffinaderij etc., die primaire energie (zonne-energie, windenergie, steenkool, aardgas, aardolie etc.) omzet in energiedragers zoals elektriciteit, benzine, diesel, waterstof.⁴ De productie van 'informatiedragers' gebeurt in sensoren en meetinstrumenten, of meer in het algemeen door een vorm van data-invoer. De productie van dragers in het mobiliteitsnetwerk (de voertuigen, vaartuigen etc.) gebeurt in fabrieken. Bij het mobiliteitsnetwerk blijven de dragers, de voertuigen, bestaan (zolang ze niet gesloopt worden), bij het energie- en ICT-netwerk blijven de dragers soms wel en soms niet bewaard.

Transport/distributie/opslag: De dragers verplaatsen zich over een netwerk dat zorgt voor **transport** (grofmazig) en **distributie** (fijnmazig) en zo nodig tijdelijke **opslag** van dragers. Bij elektriciteit bijvoorbeeld gaat het om het geheel van hoogspanningsnetten (grofmazig) tot en met laagspanningsnetten, laadpalen en stopcontacten in huizen (fijnmazig). Bij informatie bestaat het netwerk uit glasvezelkabels, internetverbindingen, zendmasten e.d. Bij mobiliteit bestaat het netwerk uit autowegen, vaarwegen, spoor etc. en is het grofmazige deel het hoofdwegennet, en het fijnmazige deel het onderliggend wegennet.

Drager: In alle 3 de netwerken zijn er '**draggers**' die zich verplaatsen of verplaatst worden; zij bevatten de kern van de uiteindelijk geleverde dienst. In het energienetwerk gaat het om energiedragers, zoals benzine en elektriciteit. Bij het mobiliteitsnetwerk om voertuigen (die mensen en goederen 'dragen'). We zijn ons ervan bewust dat het niet gebruikelijk is om voertuigen dragers te noemen, maar het is een handige manier om de drie netwerken op dezelfde manier in te delen en het past wel. Bij het ICT-netwerk gaat het om informatiedragers, zoals bits en bytes die over het internet, per usb-stick of draadloos worden verplaatst.

⁴ Ik volg voor energiedragers en primaire energie de gangbare invulling van deze begrippen. Zie bijvoorbeeld

[https://en.wikipedia.org/wiki/Primary_energy#Conversion_to_energy_carriers_\(or_secondary_energy\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Primary_energy#Conversion_to_energy_carriers_(or_secondary_energy))

Faciliterende diensten: Elk netwerk kent **faciliterende diensten**, die zorgen voor stroomlijning van processen en interacties binnen het netwerk, of voor de interactie met andere netwerken. Bijvoorbeeld in het energie/elektriciteitsnetwerk is er de dienst van een zogenaamde 'aggregator' die gebruikers kan afschakelen op het moment dat de stroomvraag de stroomproductie overtreft. Maar ook smart charging voor elektrische auto's, bijvoorbeeld via een app in de auto, valt hieronder.

Output: Elk netwerk heeft een **output**, het uiteindelijke product of de uiteindelijke dienst die met het netwerk wordt geleverd aan gebruikers. Deze output kan gelijk zijn aan de drager (zoals bijvoorbeeld waterstof in het energienetwerk), maar dat hoeft niet.

Binnen elk netwerk is er een vorm van interactie en coördinatie tussen de netwerkonderdelen nodig. Deze coördinatie is geen aparte functie, maar verbindt de verschillende functies. Bijvoorbeeld *transport/distributie/opslag* van de dragers moet zijn afgestemd op de *hoeveelheid* dragers net zoals de *productie* van dragers moet zijn afgestemd op de gevraagde *output*, om te voorkomen dat er congestie of andere problemen ontstaan.

Voorbeelden. Als de wegcapaciteit (*transport/distributie in het mobiliteitsnetwerk*) niet groot genoeg is kunnen er geen of minder voertuigen (*draggers in het mobiliteitsnetwerk*) rijden. Als er onvoldoende elektriciteit wordt geproduceerd (*productie*), moeten er gebruikers worden afgeschakeld, ook al liggen er voldoende kabels voor *transport/distributie*.

Wat is afhankelijkheid?

Afhankelijkheid betekent dat de output van netwerk 1 de input is van netwerk 2, zoals hieronder weergegeven; de pijl wijst van output (uit het ene netwerk) naar input (in het andere netwerk):

1 -> 2

Voorbeeld. Elektriciteit (de output van het energienetwerk) is input voor elektrische treinen (de dragers in het mobiliteitsnetwerk).

Wat is onderlinge afhankelijkheid (interdependency) tussen netwerken?

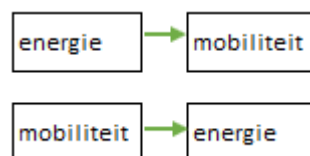
Onderlinge afhankelijkheid (interdependency) betekent dat het ene netwerk input nodig heeft uit het andere én omgekeerd. De afhankelijkheid kan parallel zijn of in een kringloop:

1) Parallel: twee gescheiden processen. ⁵

1 -> 2

2 -> 1

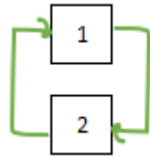
Voorbeeld.



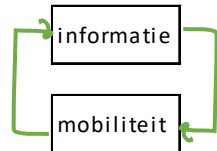
Elektriciteit (de output van het energienetwerk) is input voor elektrische treinen (mobiliteitsnetwerk); een elektrische goederentrein (mobiliteitsnetwerk) transporteert grondstoffen voor de elektriciteitscentrale (energienetwerk).

2) In een kringloop: twee gekoppelde processen.

⁵ De pijl wijst van output (uit het ene netwerk) naar input (in het andere netwerk). Hier is 2 afhankelijk van input uit 1 en is (vervolgens of gelijktijdig) 1 afhankelijk van output uit 2.



Voorbeeld.



Mobiliteit genereert informatie en op zijn beurt genereert die informatie mobiliteit. Denk aan een routenavigatiesysteem dat aangeeft waar files staan en gebruik maakt van input van auto's om de files te lokaliseren. De file-informatie gaat naar de auto's, zodat ze weten waar nog wegcapaciteit beschikbaar is.

Ruimtebeslag

Veel functies hebben een ruimtelijke component: ze nemen ruimte in. Denk aan het ruimtebeslag van windturbines, hoogspanningsmasten, wegen, auto's, kabels. De faciliterende diensten zijn een uitzondering: dit gaat om diensten die op zichzelf geen ruimte innemen. Bijlage A geeft voor elk van de 3 netwerken aan welke technieken en diensten passen bij de verschillende functies en of deze gepaard gaan met ruimtebeslag of niet.

2. Soorten afhankelijkheden

Afhankelijkheden zijn er in verschillende soorten. In het voorbeeld van 'parallele' afhankelijkheid dat we hierboven gaven - de trein die afhankelijk is van elektriciteit uit het energienetwerk en de trein die grondstoffen vervoert naar de elektriciteitscentrale - delen beide netwerken (op onderdelen) dezelfde fysieke ruimte. Daarmee is sprake van geografische afhankelijkheid.

Rinaldi et al. (2001) gaan in het artikel *Identifying, Understanding, and Analyzing Critical Infrastructure Interdependencies* in op de onderlinge afhankelijkheden van vitale infrastructuren, zoals de energievoorziening, telecommunicatie (informatie en communicatie), vervoer, drinkwatervoorziening, banken, landbouw en andere fundamentele systemen en diensten voor de veiligheid, de economische welvaart en het sociale welzijn.

Rinaldi et al. onderscheiden fysieke, cyber-, geografische en logische afhankelijkheden. Deze vier typen sluiten elkaar niet onderling uit. Fysieke afhankelijkheid betekent dat een netwerk *materiële* output uit een ander netwerk nodig heeft. Cyberafhankelijkheid verbindt 2 netwerken onderling via elektronische, informationele links. Geografische afhankelijkheid heeft betrekking op het delen van (vrijwel) dezelfde ruimte. Logische afhankelijkheid omvat bij Rinaldi et al. alle andere afhankelijkheden, bijvoorbeeld menselijke beslissingen en acties, zoals prijsbeleid of wetgeving waardoor het ene netwerk een afhankelijkheid van het ander netwerk krijgt. Een voorbeeld is het bestaan van wettelijke maximumprijzen voor een bepaald product of bepaalde dienst. Als het netwerk voor die prijs niet kan leveren, stopt de interactie met andere netwerken.

Als we kijken naar het voorbeeld van de elektrische trein en de elektriciteitscentrale valt nog iets anders op: dat de afhankelijkheden tussen de netwerken niet gelijktijdig zijn. Immers, de levering van de elektriciteit aan elektrische treinen gebeurt op een ander moment, en met een andere frequentie, dan de levering van goederen aan de elektriciteitscentrale. Ook bij het voorbeeld van een 'kringloop' - het routenavigatiesysteem dat data uit het mobiliteitsnetwerk verzamelt en bewerkt en die daarna als file-informatie teruggeeft aan het mobiliteitsnetwerk - is sprake van ongelijktijdigheid. Dit kan nog extremere vormen aannemen wanneer het systeem lerend is, en naarmate de tijd verstrijkt en er meer en meer data is verwerkt, steeds accuratere file-informatie geeft. De afhankelijkheid is dus flexibel, niet steeds hetzelfde; er is sprake van een geheugen en leervermogen.

7 hoofdgroepen

In totaal onderscheiden we in deze notitie 7 hoofdgroepen van afhankelijkheden; zie tabel 1. Van Rinaldi et al. (2001) nemen we de fysieke, cyber- en geografische afhankelijkheid over. Daarbij beschouwen we ook elektriciteit als fysiek; informatie die over het internet gaat noemen we cyber. Daarmee hebben we 3 belangrijke afhankelijkheden te pakken. We voegen hieraan toe: tijdschaal, frequentie en mate van flexibiliteit (slimheid) van de afhankelijkheid. Zoals we in de voorbeelden hierboven zagen, bepalen die ook het soort afhankelijkheid.

Tot slot voegen we 'concentratie' als type afhankelijkheid toe. Dit gaat over vragen als: hoe dicht is het netwerk, zijn er veel aansluitingen of weinig? Hoe groot is de gecreëerde afhankelijkheid: is er sprake van monopolies of machtsconcentraties? Is er een mogelijkheid om te switchen, bijvoorbeeld naar een andere leverancier van data of energie, of is er sprake van sterke gebondenheid? Denk aan een leverancier van bepaalde software of chips die de standaard bepaalt voor informatie-uitwisseling

tussen voertuigen of een routenavigatie-app die bepaalt hoe het mobiliteitsnetwerk wordt gebruikt.⁶

We beogen met tabel 1 niet een sluitende opsomming van afhankelijkheden te geven, wel om te laten zien dat er een grote variëteit bestaat. Dit helpt ook (verderop in deze notitie) na te denken over kansen en bedreigingen die samenhangen met afhankelijkheden.

Tabel 1. Hoofdtypen afhankelijkheden tussen netwerken met concrete voorbeelden.

Afhankelijkheid	Beschrijving	Voorbeeld, illustratie
Fysiek	Fysiek (stoffelijk, materieel, neemt ruimte in, objectief meetbaar, ook elektrische energie rekenen we daartoe)	Een elektrische auto heeft fysieke input (elektriciteit) nodig uit het energienetwerk; een datacenter is fysiek afhankelijk van elektrische koeling.
Cyber	Virtueel (in abstracte cyberspace), "cyber"	Er is een virtuele afhankelijkheid als die verloopt via elektronische weg, zoals internet. Bijvoorbeeld een elektrische auto die via een internetverbinding een software-update of informatie over beschikbare laadpalen krijgt; Thuiswerken (geen afhankelijkheid van een fysieke verplaatsing).
Plaats/ geografisch	Geografisch afhankelijk. De schaal waarop sprake is van afhankelijkheid varieert (bijv. millimeters, meters, kilometers, langs dezelfde route of hetzelfde traject, op dezelfde hoogte)	Netwerken delen op onderdelen dezelfde locatie. Bijv. een glasvezelkabel en elektriciteitskabel lopen onder een brug door waar verkeer overheen rijdt en schepen onderdoor varen. Een zonnepaneel op het dak van een auto. Een openbare laadpaal op een parkeerplek voor een auto. Stroom- en internetkabels voor railnetwerkonderdelen volgen hetzelfde traject als de rails. Een waterstofleiding die in een andere buis, bijv. een oude aardgasbuis, loopt.
	Nationaal of internationaal	Grensoverschrijdende connecties, bijvoorbeeld afhankelijkheid van levering van reserveonderdelen (door het mobiliteitsnetwerk) of informatie (door het informatienetwerk)
	Niet locatieafhankelijk	Netwerk(onderdelen) functioneren los van elkaar, zonder geografische verbinding. Bijv. een datacenter in India levert input voor communicatie tussen auto's en wegkantnetwerken in Nederland; Draadloze verbindingen; Footloose bedrijvigheid (bedrijvigheid die niet aan een bepaalde locatie gebonden is).

⁶ Dit kan problemen geven wanneer aanbevolen routes langs locaties gaan waar veel verkeer onwenselijk is. Zie artikel in De Stentor (2019) 'Routeplanner mag automobilist niet meer langs school sturen'.

Tijdschaal	Direct: er is binnen een fractie van een seconde input (een reactie) van het andere netwerk nodig	Real-time informatie; Elektriciteit uit het stopcontact is er over het algemeen direct, zonder vertraging.
	Uren, dagen	Netwerk 1 heeft nieuwe input nodig van netwerk 2, maar niet à la minute, want er is een voorraad voor enkele uren of dagen. Bijvoorbeeld brandstof distributie naar een (waterstof)tankstation (er is nog voorraad); het opladen van een elektrische auto op een publieke laadplek gebeurt in intervallen (tijdelijke onderbrekingen zijn geen probleem).
	Maanden	Een elektriciteitscentrale die kolen krijgt aangeleverd per trein, maar nog een kolenvoorraad heeft voor enkele maanden.
	Jaren	Aanleg van nieuwe kabels of nieuwe wegen of nieuwe datamodellen om toegenomen vraag (naar elektriciteit, mobiliteit, informatie) te accommoderen vergt tijd; Een reisplanner die informatie bevat voor een heel jaar vooruit.
Frequentie	Altijd	Een continue afhankelijkheid, niet situatieafhankelijk.
	Alleen op piekmomenten	Bijspringen van een back-up-netwerk op een moment van grote piekvraag, bijvoorbeeld een noodaggregaat, inzet van noodreserves, een short-cut.
	Alleen bij stress, calamiteiten, noodsituaties	Als er een stroomstoring is, is het elektriciteitsnetwerk afhankelijk van het mobiliteitsnetwerk in de vorm van vervoer van monteurs.
(Mate van) flexibiliteit, slimheid	Vast, 'dom'	Er is altijd dezelfde input nodig (geen variatie mogelijk); er is geen redundantie in het netwerk; Prijzen liggen vast, er zijn wettelijk vastgelegde maximumprijzen.
	Variabel, flexibel, met aanpassingsvermogen, lerend, 'smart'	Kan ook input uit andere bron betrekken; kan ook werken met ander type input; er zijn alternatieve routes; er is een back-up; er is redundantie in het netwerk; er is lerend vermogen, vermogen om zich aan te passen; Prijzen zijn flexibel.
Concentratie	De dichtheid van het netwerk, de mate van verknoping van het netwerk	Alle gebruikers in het netwerk zijn onderling verbonden, bijv. alle mensen met een telefoon. Er is vrije toegang tot een netwerk. Er is sprake van een mate van exclusiviteit, waarin alleen bepaalde deelgroepen zijn verbonden in het netwerk. ⁷

⁷ Concreet voorbeeld: Tesla-rijders die exclusief informatie krijgen over beschikbaarheid van laadpalen, die andere EV-rijders niet krijgen, of Tesla-rijders die exclusief toegang hebben tot

	Machtconcentraties, (actoren in) onderdelen van het netwerk hebben meer macht dan andere	Er zijn monopolies of oligopolies of een aantal grote spelers die de markt bepalen, zoals de Big 5 techbedrijven FAAMG: Facebook (Meta), Amazon, Apple, Microsoft, Google (Alphabet). Of 1 specifieke leverancier van software/chips die de standaard bepaalt.
--	--	--

bepaalde snellaadstations. Tesla stelt sinds kort zijn snellaadstations ook open voor andere gebruikers, zij het tegen hogere tarieven (E-drivers, 2021).

3. Conceptueel model en 2 concrete voorbeelden

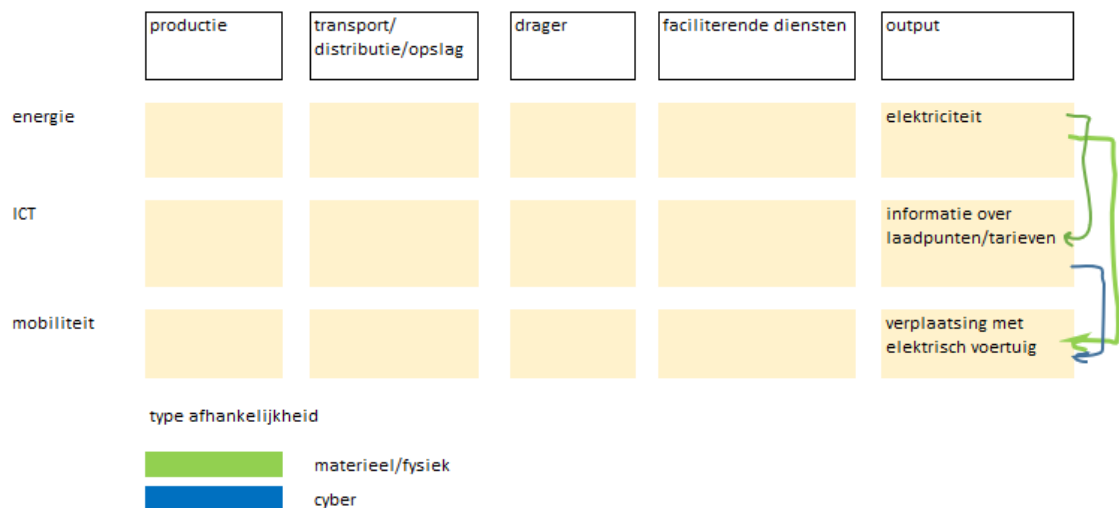
Met de indeling van de netwerken in 5 functies (zie figuur 2) en het indelen van afhankelijkheden in 6 hoofdtypen (zie tabel 1), kunnen we gericht op zoek gaan naar (bestaande) afhankelijkheden tussen de 3 netwerken. Dat netwerken onderling afhankelijk zijn, voelen we vaak wel aan, maar hoe zitten deze afhankelijkheden precies in elkaar? Welke functies binnen die netwerken zijn er precies betrokken bij de afhankelijkheid en om welk type afhankelijkheid gaat het?

Om dit zoekproces beeldend te maken hebben we een conceptueel model gemaakt, bestaande uit:

- Blokken. Deze geven de netwerkfuncties weer en kunnen worden ingevuld met specifieke technieken.
- Gekleurde pijlen. Deze geven specifieke afhankelijkheden weer tussen netwerkfuncties.

Figuur 3 is een versimpeld voorbeeld van hoe dit conceptueel model werkt. We hebben ons beperkt tot de afhankelijkheden 'fysiek' en 'cyber' en hebben alleen pijlen getrokken vanaf de functie 'output' van de netwerken en niet naar andere functies binnen de netwerken.

Met het trekken van de blauwe en groene pijlen verbeeldt figuur 3 dat het energienetwerk beide andere netwerken voedt met elektriciteit (pijlkleur groen, dus 'materieel') en dat het ICT-netwerk rijders van elektrische voertuigen in het mobiliteitsnetwerk voedt met informatie (blauw, 'cyber') over laadfaciliteiten.



Figuur 3. Verbeelding van de 'fysieke' en 'cyber-' afhankelijkheid tussen de netwerkoutputs, in het geval van elektrisch rijden.

2 concrete voorbeelden

Aan de hand van het simpele model uit figuur 3 werken we voor 2 eenvoudige voorbeelden *enkele* interacties tussen de netwerken uit. We hanteren een aantal eenvoudige spelregels:

- Afhangelijkheden binnen een netwerk (tussen functies in het netwerk) blijven buiten beschouwing.

- We vullen alleen de netwerkfuncties in die voor het voorbeeld cruciaal zijn. Dit 'invullen' doen we met een bepaalde techniek, installatie, voertuig, gebruikstoepassing (bijlage A geeft hiervoor veel opties).
- We onderscheiden voor het gemak maar 4 typen afhankelijkheid: materieel (groen), direct in de tijd (geel), cyber (blauw) en plaats (bruin).
- We trekken alleen een pijl als de afhankelijkheid echt belangrijk is. Bijvoorbeeld cyberafhankelijkheden zijn alomtegenwoordig, het heeft niet zoveel zin om die voor alle functies in te vullen. Als graadmeter voor 'belangrijk' geldt: gaat er iets mis als deze afhankelijkheid niet wordt vervuld, bijvoorbeeld heeft in het verleden een voorval (incident, probleem, crisis) plaatsgevonden vanwege deze afhankelijkheid?

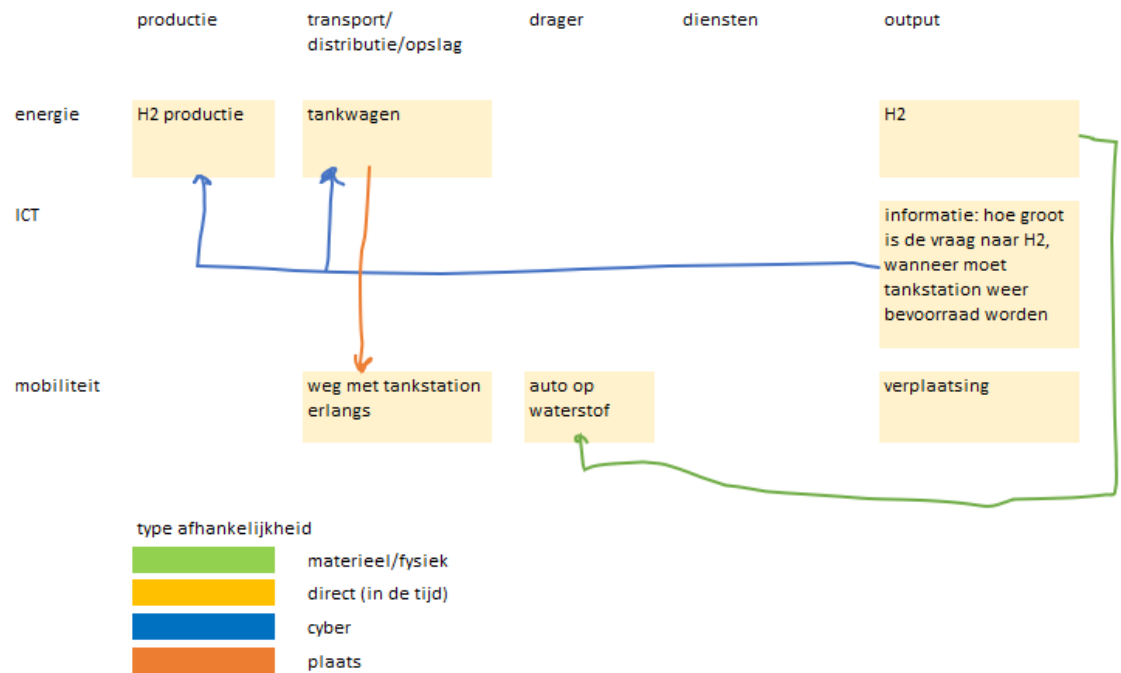
1e voorbeeld: auto's rijden op waterstof

Als eerste voorbeeld nemen we auto's die rijden op waterstof; zie figuur 4. De auto's hebben waterstof uit het energienetwerk nodig. Ze tanken deze waterstof bij tankstations die met tankwagens worden beleverd. Het ICT-netwerk levert informatie aan het energienetwerk (de functies 'productie' en 'transport/distributie/opslag') over de beschikbare voorraad in het tankstation ('is het al nodig om meer waterstof te produceren of te leveren?'). De H₂-tankwagen is afhankelijk van de wegen in het mobiliteitsnetwerk (functie 'transport/distributie/transport') om het tankstation te kunnen bereiken. Er spelen hier dus 3 typen afhankelijkheid:

- 'Cyber': een verbinding via internet ten behoeve van voorraad- en productieplanning,
- Materieel/fysiek: de waterstof voor de auto,
- Plaats: tankwagens en tankstation moeten geografisch nabij zijn om de levering te realiseren.

De afhankelijkheid '**direct (in de tijd)**' speelt in dit voorbeeld niet. Een tankstation heeft meestal een voorraadtank en een tankwagen levert zo'n 300 kg H₂, wat genoeg is voor het tanken van zo'n 60 auto's, waardoor er niet elk moment een tankwagen hoeft te leveren. Afhankelijk van het aantal klanten en de grootte van de opslag is de tijdsafhankelijkheid tussen tankwagens en tankstation in de orde van uren tot dagen.

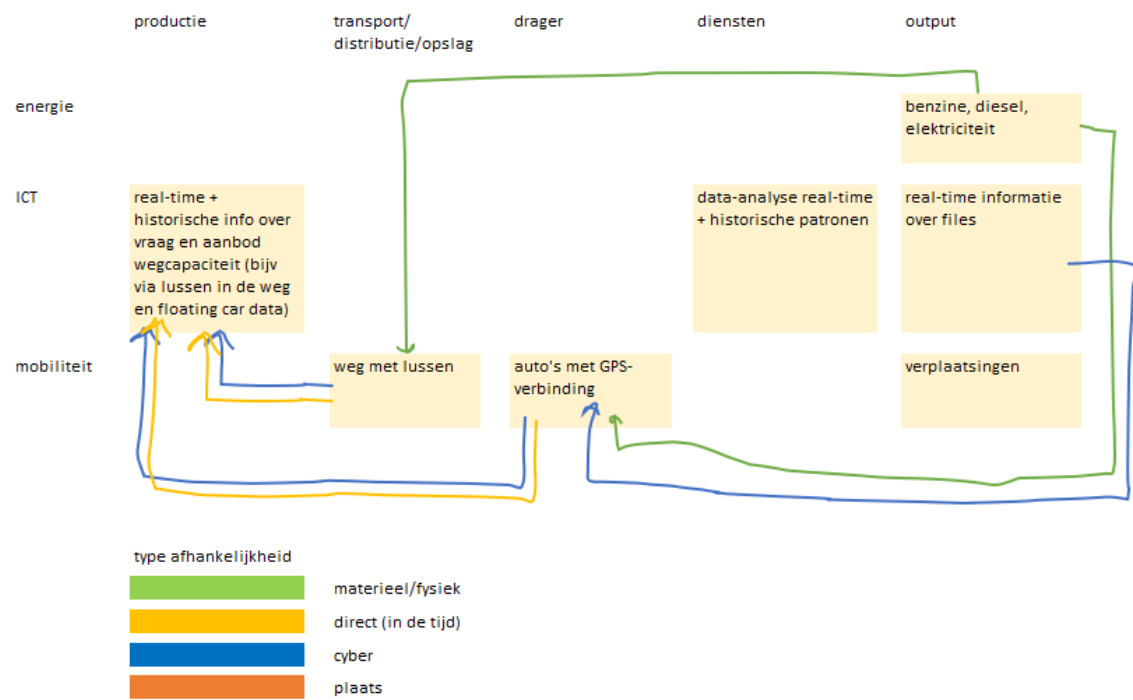
Dit voorbeeld lijkt triviaal. Toch kan het wat opleveren om er zo naar te kijken. Wat zou er bijvoorbeeld mis kunnen gaan in de relatie tankwagen–tankstation, die verloopt via de weg? Een paar opties: de wegen zijn onbegaanbaar door ijzel, er is een chauffeurstekort zodat er geen tankwagens kunnen rijden, er zijn onvoldoende tankwagens beschikbaar. Hoe kan de afhankelijkheid van tankwagens worden verminderd? Bijvoorbeeld door een pijpleiding aan te leggen die niet afhankelijk is van personeel of door bij het tankstation een nog grotere voorraad op te bouwen in opslagtanks, zodat het minder erg is als er 1 levering uitvalt.



Figuur 4. Het conceptueel model toegepast op 'auto's rijden op waterstof'; we hebben 4 typen afhankelijk betrokken, waarvan er 3 echt een rol spelen.

2e voorbeeld: real-time file-informatie

Het tweede voorbeeld is real-time file-informatie; zie figuur 5. Hier speelt, anders dan in het eerste voorbeeld, de afhankelijkheid 'direct (in de tijd)' juist wel een prominente rol. Door het real-time karakter van de file-informatie is namelijk *direct* informatie nodig op het moment van rijden, anders is het te laat. Net zoals je bij een buienradar niet pas informatie wilt krijgen over een bui als de bui al voorbij is. Wat in deze situatie bijvoorbeeld mis zou kunnen gaan in de interactie tussen de 3 netwerken is dat de energietoevoer bij weggedetectielussen hapert, zodat het aantal voertuigen niet goed wordt geteld. De directe tijdsafhankelijkheid kan worden verminderd door bij de file-informatie gebruik te maken van historische data, of door gebruik te maken van lerend vermogen, een geheugen in het netwerk.



Figuur 5. Het conceptueel model toegepast op 'real-time file-informatie'.

4. Kansen zoeken vanuit specifieke afhankelijkheden

Met de typologie van afhankelijkheden uit tabel 1 als uitgangspunt, kunnen we op zoek gaan naar kansen die de interacties tussen de netwerken bieden voor de IenW-domeinen. Dit doen we in deze paragraaf. (Een alternatieve benadering is om niet te zoeken vanuit afhankelijkheden, maar vanuit 1 van de 3 netwerken; zie hiervoor bijlage B.) Op het eerste oog lijken er bij sommige afhankelijkheden zeker kansen te liggen.⁸ Zoals:

Plaatsafhankelijkheid levert een kans voor het verbeteren van de kwaliteit van de ruimte (leefbaarheid) door (nog) meer functies op 1 plek te combineren ('meervoudig ruimtegebruik'). Zoals:

- 1) Het combineren van laadstations voor elektrische auto's met elektriciteitsopwekking: zonnepanelen op laadpalen, energieopwekking op hubs en dergelijke.
- 2) Het 'opknippen' van grote datacenters in mini-datacenters die verspreid over meer locaties voor verwarming zorgen (terwijl ze zelf gekoeld worden) (Financieel Dagblad, 2020). Dit lijkt met name geschikt voor de gebouwde omgeving - zoals verwarmen van huizen - en minder voor het verwarmen van vervoermiddelen, omdat extra gewicht wordt verplaatst; een stationaire toepassing, bijvoorbeeld het verwarmen van het wegdek om winterse gladheid te voorkomen is wellicht een betere toepassing.
- 3) Het combineren van een spoorlijn met een 'informatielijn' (=de functie transport in het ICT-netwerk). Zoals de glasvezel die ProRail langs het spoor legt om de datanetwerken van het ERTMS-netwerk te voeden (Spoorpro, 2020).
- 4) Een brug voor het autoverkeer benutten om beide oevers ook met glasvezel- en stroomkabels te verbinden.

Een **flexibele afhankelijkheid** tussen netwerken biedt de kans om netwerken te laten samenwerken en tot synergie te laten komen. Bij een starre afhankelijkheid, die maar op 1 specifieke manier kan worden vervuld, is de kans hierop veel kleiner. Voorbeeld. Wanneer er flexibele, lokale units voor elektriciteitsopwekking beschikbaar zijn, kan een mobiliteitshub voor elektrische deelauto's en scooters op flexibele wijze meegroeien met het aantal gebruikers ervan (ervan uitgaande dat de voertuigen op de hub worden geladen). Denk aan warmtekrachtinstallaties (wkk) op wijkniveau of in de glastuinbouw, of aan het (tijdelijk) plaatsen van noodaggregaten (dit zijn mobiele werktuigen, dus onderdeel van het mobiliteitsnetwerk), hoewel dit in het geval van dieselaggregaten natuurlijk niet bijdraagt aan duurzaamheid.⁹

De afhankelijkheid **direct (in de tijd)** biedt kansen om informatie op real-time basis te delen tussen netwerken.

Voorbeeld. Een zelfrijdend auto uitgerust met sensoren voor directe, real-time aansturing kan *direct* informatie aan andere auto's of netwerkbeheerders doorgeven over de toestand van de weg, files, gaten in het wegdek en dergelijke. Hij gebruikt de informatie dus niet alleen zelf voor zijn navigatie maar stelt deze ook direct voor een ander doel (verkeersveiligheid, robuustheid van het netwerk) ter beschikking aan andere gebruikers.

⁸ Het gaat om kansen vanuit de, neutrale, netwerken bezien en niet vanuit de gebruikers; draagvlak valt buiten de scope van dit essay.

⁹ Dit plaatsen van dieselaggregaten gebeurt nu al, zie bijvoorbeeld Financieel Dagblad (2021).

5. Welke afhankelijkheden brengen bedreigingen met zich mee?

Afhankelijkheden brengen naast kansen ook bedreigingen (gedefinieerd als een probleem of calamiteit in de interactie tussen de netwerken) met zich mee. Het optreden van een afhankelijkheid geeft een eerste indicatie voor het bestaan van dergelijke bedreigingen. Een probleem zal namelijk vooral optreden wanneer de grenzen van een bepaalde afhankelijkheid worden overschreden.

Met name een *directe* tijdsafhankelijkheid geeft bedreigingen. Disrupties in het ene netwerk kunnen dan letterlijk snel overslaan naar het andere netwerk.

Voorbeeld. Een file-informatiedienst die gebaseerd is op actuele, real-time data, komt in de problemen als de data-aanlevering stopt. Idealiter is er een voorraad van bruikbare (historische) data (zo vullen sommige verkeersmanagementsystemen hun datastroom voor het meten van de doorstroming aan met historische data). Ook uitval van de stroomvoorziening levert problemen op die kunnen worden verminderd door een voorraad energie aan te leggen in accu's.

Enkele andere voorbeelden van afhankelijkheden die bedreigingen opleveren zijn:

Voorbeelden. Een gascentrale die door een handels- of geopolitiek conflict geen gas meer krijgt aangevoerd via een bepaalde pijpleiding, raakt op enig moment (=tijd) door zijn voorraad heen, maar als er alternatieve aanvoer per LNG-schip (=flexibiliteit) mogelijk is, wordt dat probleem opgelost.

Als veel auto's gelijktijdig (=tijd) willen opladen, terwijl er op dat moment onvoldoende stroomaanbod is, wordt een deel ervan afgeschakeld door de netbeheerder. Bouw van een nieuwe elektriciteitscentrale kan dit probleem op een termijn van jaren (=tijd) oplossen; een snellere oplossing is import van elektriciteit of zorgen dat niet auto's maar andere gebruikers worden afgeschakeld. Nog een andere oplossing zou zijn om het laden van auto's te spreiden in de tijd (=flexibiliteit).

Afhankelijkheden die zowel kansen als bedreigingen opleveren

Er zijn ook afhankelijkheden die zowel kansen als bedreigingen opleveren.

Bijvoorbeeld geografische afhankelijkheid levert, zoals gezegd, kansen voor verbeteren van de leefomgeving via meervoudig ruimtegebruik, maar brengt ook het risico met zich mee dat diverse netwerken worden getroffen door hetzelfde probleem (cascadering).

Voorbeelden. Als een brug instort waaronder een stroomkabel loopt, is niet alleen het mobiliteitsnetwerk maar ook het energienetwerk gedupeerd. Als er brand uitbreekt in de Schipholtunnel waar ook alle dataverbindingen van de luchthaven doorheen lopen, ontstaat tegelijk een probleem in het informatie- en mobiliteitsnetwerk van en naar de luchthaven: de calamiteit heeft een sneeuwbalwerking.

Als verschillende netwerken (mobiliteit, energie, ICT) dezelfde (beperkte) ruimte delen, wordt de situatie ter plekke complexer, met grotere kans dat er iets misgaat. Bijvoorbeeld bij graven in de ondergrond om kabels of leidingen te leggen, kunnen andere vitale functies worden beschadigd.

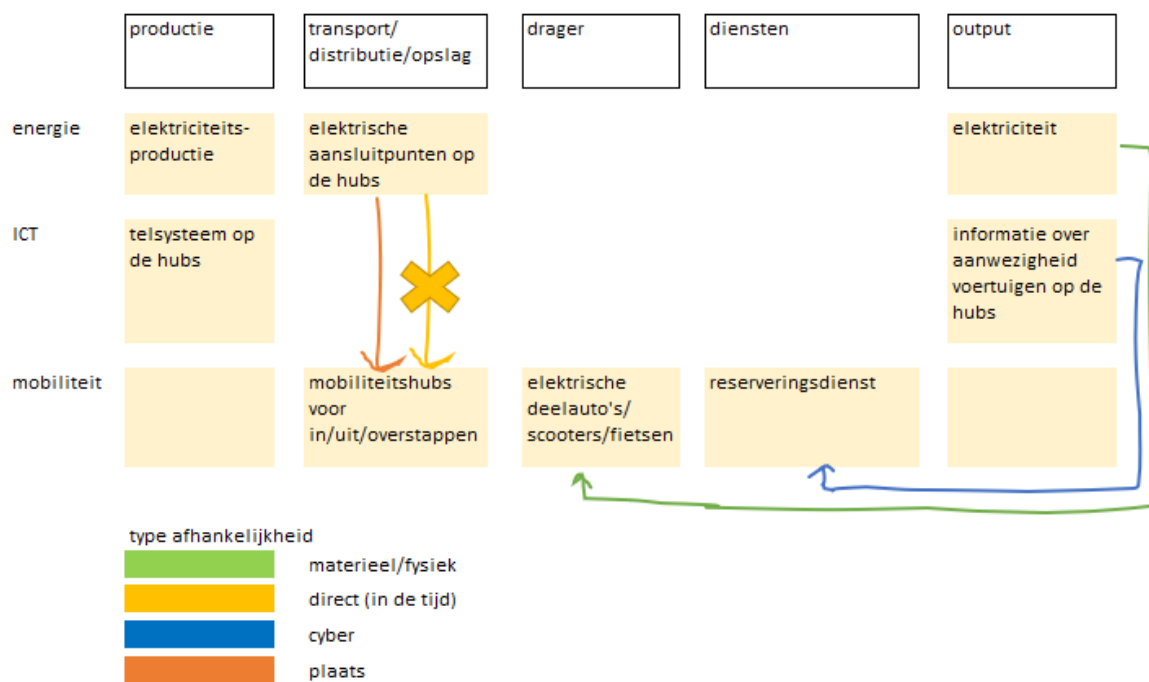
Digitalisering levert kansen voor informatieverbreiding, aansturing en afstemming tussen netwerken, maar ook een groot risico op cybercriminaliteit die grote delen van netwerken kan lamleggen of saboteren.

Afhankelijkheden gebruiken als aanknopingspunt voor oplossen van knelpunten

Soms kunnen afhankelijkheden wijzen in de richting van een oplossing. Neem het knelpunt dat er meer elektrische voertuigen gebruik willen maken van een mobiliteitshub dan bij aanleg van de hub was ingeschat, zodat de hub te weinig

laadcapaciteit heeft. Zo'n tekort is meestal niet 1-2-3 op te lossen: de grond moet open, er moet een extra verdeelstation of distributiekabel worden aangelegd of zelfs productiecapaciteit worden bijgebouwd. De bestaande afhankelijkheden bieden mogelijk aanknopingspunten voor oplossingen:

- Wellicht kan de geografische afhankelijkheid tussen de elektrische aansluitpunten en de hubs worden verminderd door elders op te laden?
- Of misschien kan er nieuwe, lokale elektriciteitsproductie komen (flexibele, snel te bouwen units) of kunnen er noodaggregaten (mobiele werktuigen) worden ingezet, zodat de flexibiliteit wordt vergroot?
- Of wellicht kan het ICT-netwerk iets betekenen in de toedeling van laadcapaciteit (piek- en daluren) en daarmee de directe tijdsafhankelijkheid verminderen?



Figuur 6. De directe afhankelijkheid van de hub van elektrische aansluitingen vormt een knelpunt. Het kruis geeft aan bij welke afhankelijkheid het spaak loopt.

6. Conclusies

In dit essay hebben we verkend wat de interacties zijn tussen de 3 netwerken van energie, mobiliteit en ICT en welke kansen en bedreigingen deze interacties met zich meebrengen voor IenW-domeinen. Interacties hebben we gedefinieerd als afhankelijkheden.

De functies van de 3 netwerken hebben een grote onderlinge verknoptheid; je kunt spreken van een systeem van netwerkfuncties. We hebben de vraag opgevat als een vraag naar hoe je betekenisvolle relaties tussen netwerken kunt identificeren en typeren. We hebben ons gericht op 3 deelvragen. Deze kunnen we als volgt beantwoorden:

1. Waaruit bestaan de netwerken voor energie, mobiliteit en ICT: welke *functies* zijn globaal te onderscheiden?

We onderscheiden 5 functies, waarvan de belangrijkste de geleverde output (product of dienst) van het netwerk is. De 4 andere zijn: productie van dragers, transport/distributie/opslag van dragers, de dragers zelf, en faciliterende diensten.

2. Wat zijn mogelijke *typen* interacties (afhankelijkheden) tussen de 3 netwerken en de functies uit deelvraag 1?

We hebben een indeling gemaakt in 7 hoofdgroepen afhankelijkheden, zonder de pretentie van volledigheid of een sluitende indeling. Afhankelijkheden sluiten elkaar onderling niet uit. Het gaat om deze 7: Fysiek, Cyber, Plaats, Tijdschaal, Frequentie, Flexibiliteit en Concentratie.

3. Wat voor *soort* kansen en bedreigingen kunnen de interacties (afhankelijkheden) uit deelvraag 2 met zich meebrengen?

Bedreigingen komen bijvoorbeeld van een directe tijdsafhankelijkheid, cascadering van problemen (overslaan van het ene netwerk naar het andere) en cybercriminaliteit. Kansen zijn bijvoorbeeld: afstemming tussen netwerken via digitalisering (bijvoorbeeld *peak shaving*) en meervoudig ruimtegebruik voor betere kwaliteit van de leefomgeving. Afhankelijkheden kunnen aanwijzingen geven voor oplossingen.

Referenties

Baxter, J., Mercedz, D., Costinett, D., Tolbert, L. & Ozpineci, B. (2018). *Review of Electrical Architectures and Power Requirements for Automated Vehicles*. 2018 IEEE Transportation Electrification Conference and Expo (ITEC). Geraadpleegd via <https://ieeexplore.ieee.org/xpl/conhome/8410750/proceeding>

Berdigh, A. & El Yassini, K. (2018). *Connected Car Overview: Solutions, Challenges and Opportunities*. In: Conférence Internationale en Automatique & Traitement de Signal (ATS-2018). Proceedings of Engineering and Technology - PET. Vol 35 pp. 89-94.

De Stentor (2019). Webartikel 25 november 2019. *Routeplanner mag automobilist niet meer langs school sturen*. <https://www.destentor.nl/politiek/routeplanner-mag-automobilist-niet-meer-langs-school-sturen~a650328a/>

Tillema, T., Kansen, M. & Moorman, S. (2020). *Monitoren van de transitie naar autonoom vervoer*. Den Haag: Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid.

E-drivers (2021). *Tesla stelt tien Nederlandse Supercharger-locaties open voor andere merken*. Webartikel 2 november 2021. Geraadpleegd via <https://e-drivers.com/tesla-stelt-tien-nederlandse-supercharger-locaties-open-voor-andere-merken/>

Financieel Dagblad (2020). *Een warme huiskamer door mini-datacenter in flatgebouw*. Webartikel 14 oktober 2020. Geraadpleegd via <https://fd.nl/futures/1360121/een-warme-huiskamer-door-mini-datacenter-in-flatgebouw>

Financieel Dagblad (2021). *Overvol stroomnet dwingt bedrijven tot noodmaatregelen*. Webartikel 13 januari 2021. Geraadpleegd via <https://fd.nl/bedrijfsleven/1426880/bedrijven-nemen-noodmaatregelen-tegen-overvol-stroomnet>

Hollander, G. den, Vonk, M., Snellen, D. & Huitzing, H. (2017). *Mobiliteit en elektriciteit in het digitale tijdperk. Publieke waarden onder spanning. Signalenrapport*. Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.

Rinaldi, S., Peerenboom, J. & Kelly, T. (2001). *Identifying, Understanding, and Analyzing Critical Infrastructure Interdependencies*. IEEE Control Systems Magazine. December 2001.

Rli (2021). *Digitaal duurzaam*. Den Haag: Raad voor de leefomgeving infrastructuur (Rli).

Rodrigue, J.-P. (2020). *Information Technologies and Mobility*. Geraadpleegd via https://transportgeography.org/?page_id=1685

Spoorpro (2020). *Nieuwe glasvezelverbinding biedt meer capaciteit op Betuweroute*. Webartikel 14 mei 2020. Geraadpleegd via <https://www.spoorpro.nl/goederenvervoer/2020/05/14/nieuwe-glasvezelverbinding-biedt-meer-capaciteit-op-betuweroute/>

T&E (2019). *Less (cars) is more - how to go from new to sustainable mobility*. Brussel: Transport & Environment (T&E).

Uddin, M. et al. (2018). *A review on peak load shaving strategies*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 82 (2018) 3323–3332.

Verbeek, M. & Cuelenaere, R. (2019). *Behoeftte aan infrastructuur voor alternatieve energiedragers voor mobiliteit in Nederland*. Den Haag: TNO.

Wadud, Z., MacKenzie, D. & Leiby, P. (2016). *Help or hindrance - The travel, energy and carbon impacts of highly automated vehicles*. *Transportation Research Part A* 86 (2016) 1-18.

Bijlage A: De 5 functies in meer detail

In dit schema beschrijven we per netwerk meer in detail wat de netwerkfuncties concreet kunnen inhouden. Het doel is niet volledigheid, maar wel om per netwerkonderdeel duidelijk te maken aan welke zaken je kunt denken. Grijsgeaccenteerde blokken gaan gepaard met ruimtebeslag. Dit kan zowel boven- als ondergronds zijn, bijvoorbeeld bovengrondse elektriciteitscentrales of hoogspanningsmasten respectievelijk ondergrondse buisleidingen.

Functie	Energienetwerk	Mobiliteitsnetwerk	ICT-netwerk
Output, uiteindelijke product of dienst	Energie in bruikbare vorm	Verplaatsingen van mensen en goederen	Informatie in digitale vorm
Faciliterende diensten	Energiediensten Bijv. laadapps, besparingsapps, flexibiliteitsdiensten (afschakelen E-vraag bij weinig E-aanbod), emissiehandel, dienstverlening die auto-accu inzet als tijdelijke elektriciteitsopslag (V2G)	Mobiliteitsdiensten reisinformatie, file-informatie, autodeelconcepten, Mobility-as-a-Service MaaS (-platforms), verkeersmanagement	Informatiediensten Apps, internet-of-things, databewerking/-analyse
Dragers (wat beweegt)	Energiedragers Elektriciteit, gas/H ₂ , benzine, diesel	Vervoermiddelen Wegvoertuig, trein, schip etc	Informatiedragers "Bits en bytes", signalen
Transport/distributie/opslag	Energienetwerk Hoog-, midden- en laagspanningsnet, kabels/masten, tank/laadstations, opslag in accu's, opslagtanks, aansluitpunten in het netwerk	Mobiliteitsnetwerk Autowegen (incl. wegportalen, verkeerslichten, rails en bovenleiding, waterwegen, bruggen, sluisen, knooppunten, haltes, overstap- en overslagplaatsen (hubs)	Informatiedistributie Communicatiemiddelen (smartphone, pc), apparatuur voor uitwisseling, bewerking en opslag (clouds) van data, internet, servers, signaalversterkers, koeling, kabels, glasvezel, breedband, zendmasten (4G, 5G)
Productie (generatie van dragers)	Productie van energiedragers uit primaire energie, zowel centraal als decentraal. Kolen/gascentrale, windturbines, zon-pv, olieraffinage etc.	Productie van vervoermiddelen (autofabriek e.d.)	Dataopwekking/mining, Data-invoer, sensoren in voertuigen/wegdek/wegkant, floating car data, data over energiegebruik

Legenda:

Ruimtelijk/fysiek, neemt ruimte in
Virtueel, cyberspace
Gemengd, ruimtelijk+virtueel

Bijlage B: Kansen zoeken vanuit 1 van de netwerken

In deze bijlage kiezen we een alternatieve benadering voor die in paragraaf 4. We zoeken niet naar kansen vanuit een bepaald type afhankelijkheid, maar vanuit de afhankelijkheid tussen netwerken *an sich*. We werken dit illustratief uit met het ICT-netwerk als uitgangspunt. Dezelfde exercitie zou ook kunnen worden gedaan met een van beide andere netwerken als startpunt.

Kansen vanuit interactie tussen het ICT-netwerk met de energie- en mobiliteitsnetwerken

In theorie kan het ICT-netwerk aan de 2 andere netwerken allerlei informatie en aansturingmogelijkheden bieden, waarmee de functies in die 2 netwerken duurzamer, leefbaarder, veiliger, robuuster kunnen worden vervuld. Of dit in de praktijk ook gebeurt, is de vraag. Zoals ook de Rli (2021) constateert, leidt digitalisering niet automatisch tot kansen voor duurzaamheid. Of ICT bijdraagt aan duurzaamheid is dus sterk afhankelijk van de specifieke wijze waarop ICT wordt ingezet en of kansen worden benut.

Een voorbeeld is de 'cruise control' in een auto die de bestuurder helpt om gelijkmatig te rijden. Een autonome auto neemt nog meer rijtaken over en zorgt, als het gaat zoals gepland, voor meer verkeersveiligheid, optimale routekeuze, minder congestie etc.¹⁰

Het ICT-netwerk kan in principe ook helpen om in beide andere netwerken de afstemming tussen vraag en aanbod tot stand te brengen, bijvoorbeeld met een app. Dit levert als *kans* op om bij het matchen van vraag en aanbod duurzaamheid, leefbaarheid en dergelijke als *randvoorwaarde* te stellen.

Een voorbeeld is een app die vraag en aanbod van deelauto's bij elkaar brengt, en daarbij *elektrische deelauto's* als defaultoptie hanteert of tegen een lagere prijs of met meer bonuspunten aanbiedt dan auto's met verbrandingsmotor. Of een routeapp die een autobestuurder luchtvervuilingshotspots laat vermijden.

Andere kansen vanuit het ICT-netwerk liggen bijvoorbeeld op het gebied van *peak shaving* en autonome auto's:

Peak shaving. Met ICT kunnen het energie- en mobiliteitsnetwerk informatie ontvangen over het moment waarop er congestie in hun netwerk gaat optreden. Denk aan een te grote elektriciteitsvraag voor de productie die op dat moment plaatsvindt, of te veel voertuigen op de weg voor de wegcapaciteit die op dat moment beschikbaar is. Voorbeelden van hoe informatie over piekvraag tot stand komen zijn: via sensoren (lussen) in het wegdek, informatie die voertuigen versturen (floating car data), informatie over energiegebruiksprofielen (per auto en voor de vloot als geheel), aflezing van 'slimme' meters, satellietbeelden, voorspellende modellen, etc. Dit gebeurt nu ook al, maar er is nog veel ruimte voor verbetering: een betere, uitgebreidere dataverzameling en -analyse in het ICT-netwerk kan de beide andere netwerken helpen om beter met pieken in de vraag en dalen in het aanbod om te gaan. Bijvoorbeeld via *informatie* over hoe de te grote vraag kan worden uitgesteld tot een gunstiger moment (*peak shaving*¹¹) of zelfs vermeden. Ook kan ICT in de vorm van een betalingssysteem prijsprikkels geven om congestie te vermijden. Denk aan betalen naar gebruik, spitsheffingen, daltarieven, terugleververgoedingen en dergelijke.

¹⁰ Bron: Tillema et al. (2020).

¹¹ Een overzicht van peak shaving-technieken is bijvoorbeeld te vinden in Uddin et al. (2018).

Autonome auto's. Autonome auto's kunnen vanuit het ICT-netwerk (via een app of boordcomputer) worden aangestuurd met informatie op het gebied van duurzaamheid, leefbaarheid en verkeersveiligheid. Bijvoorbeeld informatie over energiezuinig rijden, cruise control, efficiënte routekeuze, vermijden van drukke gebieden, het parkeren op speciaal ingerichte parkeerplaatsen aan de rand van de stad en dergelijke. Autonome voertuigen leveren wel een extra energievraag¹² op, zodat mogelijk een deel van de duurzaamheidswinst weer teniet wordt gedaan (tenzij de energie volledig duurzaam is geproduceerd).

¹² De sensoren aan boord van autonome voertuigen vragen minimaal 0,2 kW_{el}, bij de hogere autonominiveaus komt er nog een paar kW_{el} bij voor de on-board computer (Baxter et al., 2018; zie ook Wadud et al., 2016).

Colofon

Dit is een uitgave van het
Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat

Maart 2022
Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid (KiM)

Auteur:
Saeda Moorman

Vormgeving en opmaak:
IenW

Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid (KiM)
Bezuidenhoutseweg 20
2594 AV Den Haag
Postbus 20901
2500 EX Den Haag

Telefoon: 070 456 1965
Website: www.kimnet.nl
E-mail: info@kimnet.nl

Publicaties van het KiM zijn aan te vragen bij het KiM (via info@kimnet.nl) of als PDF te downloaden van onze website www.kimnet.nl. U kunt natuurlijk ook altijd contact opnemen met één van onze medewerkers.

Delen uit deze publicatie mogen worden overgenomen onder vermelding van het KiM als bron.