

## **Inzicht in effecten Smart Mobility**

Aafke den Hollander – Rebel – [aafke.denhollander@rebelgroup.com](mailto:aafke.denhollander@rebelgroup.com)

Martijn Legêne – Goudappel – [mlegene@goudappel.nl](mailto:mlegene@goudappel.nl)

Michiel Beck – ministerie van Infrastructuur en Waterstaat – [michiel.beck@minienw.nl](mailto:michiel.beck@minienw.nl)

### **Bijdrage aan het Colloquium Vervoersplanologisch Speurwerk 23 en 24 november 2023, Brussel**

#### **Samenvatting**

Effecten van Smart Mobility toepassingen op bereikbaarheid, leefbaarheid en veiligheid zijn niet altijd even inzichtelijk. Enerzijds komt dit doordat een toepassing op meerdere indicatoren kan ingrijpen, anderzijds omdat meerdere toepassingen tegelijk positieve en/of negatieve invloed kan hebben op het beoogde effect. Bovendien worden toepassingen vaak net op een andere manier geëvalueerd waardoor het vergelijken lastig is. Eenduidigheid en overzicht mist. Het is echter wel belangrijk meer inzicht te creëren in de effecten van Smart Mobility toepassingen, voor onder andere beleid, beleidsevaluatie en doorrekeningen van beoogde effecten van projecten. Middels een uitgebreid overzicht van beschikbare bronnen inclusief duiding van de bron, kwaliteit en uitkomsten (de Kennisbank) en causale relatiediagrammen wordt momenteel gewerkt aan dit inzicht. Daarbij wordt gestart met inzicht creëren 'dicht bij de toepassing' en daarna richting effect op straat. Concreet betekent dit dat per Smart Mobility toepassing inzicht wordt gecreëerd in aanbod, gebruik en effect. Dit zorgt ervoor dat we duidelijk maken wat we wel, maar ook wat we nog niet weten. En hoe effecten samenhangen.

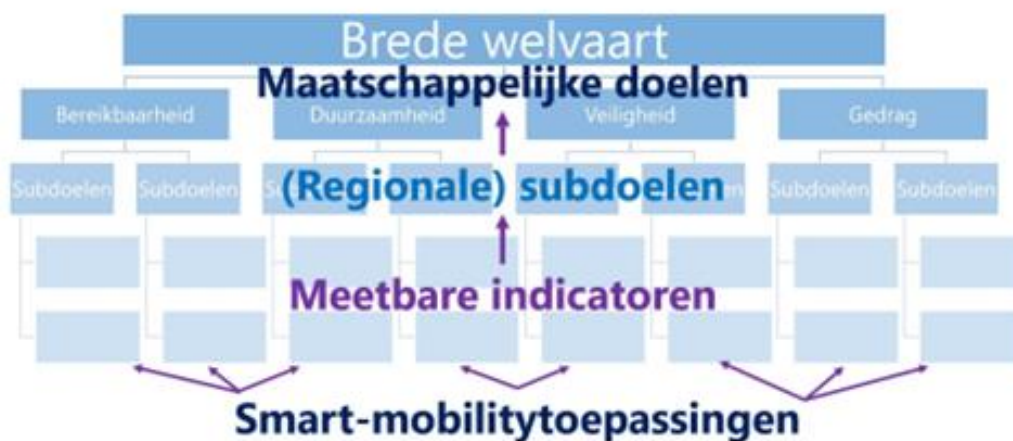
Momenteel is dit gedaan voor vijf toepassingen:

- Smart Werkgeversbenadering en Telewerken
- Navigatie
- Incar verkeersinformatie
- Rijtaakautomatisering (ACC/CACC)
- IVRI

En daar stopt het niet mee. De aankomende periode wordt zowel gewerkt aan het updaten, verrijken en aanvullen van de Kennisbank en de causale relatiediagrammen als aan het opstellen van diagrammen voor nieuwe toepassingen, zoals toepassingen voor logistiek. Daarmee voegen we steeds meer inzicht toe. Deze inzichten worden breed gedeeld, via onder andere de Krachtenbundeling en de Monitor Smart Mobility van het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat.

## Inleiding

Smart Mobility toepassingen kunnen bijdragen aan bereikbaarheid, leefbaarheid en verkeersveiligheid. De afgelopen jaren is er in diverse programma's door verschillende publieke en private partijen gewerkt aan het testen, beproeven en implementeren van Smart Mobility toepassingen. Ondertussen zien we dat Smart Mobility steeds meer onderdeel wordt van het reguliere werk. Dat het onderdeel wordt van bestaande werkprocessen binnen projecten en beheer en onderhoud. Smart Mobility als middel en niet als doel. Dit maakt dat er ook een toenemende behoefte is aan het meer en eenduidiger inzichtelijk maken van de effecten van Smart Mobility op brede welvaartsdoelen, te starten met bereikbaarheid, leefbaarheid en veiligheid.



## Monitor Smart Mobility– aanbod, gebruik en effect

Om meer inzicht te krijgen in de effecten van Smart Mobility heeft het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat begin 2023 de Monitor Smart Mobility aan de Tweede Kamer aangeboden. De Monitor Smart Mobility geeft voor toepassingen op het gebied van voertuigautomatisering, verkeersmanagement en informatiediensten en mobiliteitsdiensten aan welke inzichten er zijn op het gebied van *aanbod, gebruik en effect*. De scope van de monitor bevat toepassingen voor zowel personenvervoer als goederenvervoer over de weg met een automatisering en/of digitaliseringscomponent. De monitor maakt gebruik van beschikbare rapporten en onderzoeken en geeft beknopt de belangrijkste inzichten weer. Op dit moment zijn er nog met name inzichten beschikbaar op het gebied van aanbod en gebruik, in mindere mate zijn ook effecten van toepassingen opgenomen in de monitor. Deze betreffen wel alleen generieke inzichten van toepassingen die reeds breed geïmplementeerd of klaar zijn voor opschaling. Dus uitkomsten van pilots of toepassingen die op een specifieke locatie zijn geïmplementeerd zijn niet opgenomen.

## Inzicht in effecten

Om naast aanbod en gebruik meer eenduidig en gericht inzicht te creëren in effecten is naast de monitor gestart met het samenstellen van een Kennisbank, in de vorm van een bronoverzicht, en het opstellen van causale relatiendiagrammen. Beide producten die bijdragen aan het vergoten van inzicht in de effecten van Smart Mobility toepassingen zijn beschikbaar op verzoek via een van de auteurs van deze paper. Hieronder lichten we beide producten toe.

## Kennisbank - Bronoverzicht

De grote hoeveelheid beschikbare informatie over Smart Mobility maakt het niet altijd mogelijk om hier eenduidige lessen uit te trekken. Uit diverse studies naar de effecten van Smart Mobility leren we dat er hoofdzakelijk kennis beschikbaar is over de verkeerskundige (gedrags-)effecten en zijn oorzaken en gevolgen niet altijd aan elkaar te relateren. Om effecten over andere beleidsdoelen en Brede Welvaart in beeld te brengen is het belangrijk om de beschikbare informatie eenduidig samen te brengen, met een goed navolgbare redenering. De Kennisbank biedt de basis om dit te kunnen doen. De Kennisbank is een overzicht dat aangeeft voor welke Smart Mobility toepassing en welke beleidsdoelen informatie over effecten beschikbaar is en welke bronnen hieraan ten grondslag liggen. Met de Kennisbank wordt de kwaliteit van de beschikbare literatuur beoordeeld. Tevens is in beeld gebracht welke toepassingen samenhangen met welke effecten en welke oorzaken daarachter zitten. Hiermee wordt duidelijk welke informatie beschikbaar is (ex-ante en ex-post) en waar kennislacunes bestaan omdat hierover nog (te) weinig informatie over beschikbaar is. Dit laatste draagt bij aan de programmering van verder onderzoek naar de effecten van Smart Mobility.

## Oorzaak-gevolg

Het begrijpen van het gehele mobiliteitssysteem is noodzakelijk om te achterhalen waardoor effecten verklaard worden. Een Smart Mobility toepassing kan bijvoorbeeld op de ene indicator een positief effect hebben, terwijl het op een andere een negatief effect heeft. Ook kan een toepassing een tegengesteld effect hebben voor verschillende doelgroepen, omdat de voordelen voor de een kunnen leiden tot een nadeel voor de ander. Het is ook mogelijk dat een toepassing op de ene doelgroep of in een bepaalde omgeving geen effect heeft, maar onder andere omstandigheden wel. Ook kunnen meerdere toepassingen tegelijk ingrijpen op hetzelfde effect en elkaar daarbij versterken

of juist verzwakken. Daarom is het onmogelijk om effecten van Smart Mobility sec te duiden met het overzicht van de Kennisbank.

Om het ingrijpen van verschillende toepassingen wel in beeld te brengen, gebruiken we causale diagrammen. Op basis van de beschikbare informatie uit de Kennisbank is een set van indicatoren opgesteld die de effecten van Smart Mobility bepalen. Deze indicatoren zijn samengebracht in causale diagrammen per toepassing. De causale diagrammen vormen een begrijpelijke structuur die de oorzaken en gevolgen achter effecten laat zien. In deze diagrammen beredeneren we door middel van kolommen van links naar rechts hoe Smart Mobility toepassingen aangrijpen op het mobiliteitssysteem. Dit geeft van links naar rechts de volgende hiërarchische structuur van aanbod, naar gebruik, naar gedrag, naar effecten:

- Maatregel en de bijhorende aangrijpingspunten/toepassingen;
- Reisgedrag (pre-trip/operationeel/microniveau);
- Rijgedrag (on-trip/tactisch/mesoniveau);
- Maatschappelijke effecten (strategisch/macroniveau)

De zekerheid van effecten wordt bepaald door de mate waarin deze effecten meetbaar zijn.

### **Theorie causale relatiediagrammen**

Omdat effecten van toepassingen niet altijd lineair of constant zijn is per toepassing een redeneerlijn nodig. Voor het opzetten van de redeneerlijn bouwen we voort op de kennis die rondom (het gebruik van) causale relatiediagrammen is ontwikkeld in het Raamwerk voor monitoring en evaluatie van Smart Mobility diensten in Nederland (TNO, 2017) en bij de toepassing van causale relatiediagrammen bij het in beeld brengen van de effecten van het Smart Mobility Uitvoeringsprogramma van de [provincie Noord-Holland](#) (provincie Noord-Holland en Goudappel, 2021). Deze in Noord-Holland ontwikkelde diagrammen zijn gevalideerd door externe experts en toegepast bij de evaluatie van het Uitvoeringsprogramma Smart Mobility 2018-2021. Deze causaliteitsdiagrammen geven meer grip op de omvang van effecten en maken inzichtelijk waardoor effecten in de ene situatie wel en in de andere situatie wellicht niet optreden. Het effect van maatregelen kan bijvoorbeeld verschillen omdat diverse (externe) ontwikkelingen deze effecten beïnvloeden. Denk hierbij aan toename vrachtverkeer, vergrijzing, verstedelijking, toename elektrificatie, et cetera. Deze ontwikkelingen zijn onzeker. Ook is het mogelijk dat een maatregel op de ene locatie leidt tot positieve effecten en op een andere locatie tot negatieve, bijvoorbeeld door een verschuiving van verkeersstromen, of doordat ruimte elders gewenst is om een maatregel mogelijk te maken. Causaliteitsdiagrammen helpen om deze mechanismen en de bijhorende onzekerheden in beeld te krijgen. De diagrammen helpen in het begrijpen van oorzaak-gevolg relaties, in dit geval door een beeld te schetsen van de relaties tussen Smart Mobility toepassingen ('knoppen' waaraan gedraaid wordt) en effecten op maatschappelijke opgaven (zowel het eindresultaat als alle tussenstappen).

### **Creëren van generiek inzicht in effecten**

Niet gerelateerd aan een specifieke locatie maar voor generieke toepassing wordt in opdracht van het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat momenteel door Goudappel en Rebel gewerkt aan het opstellen van causale relatiediagrammen voor Smart Mobility toepassingen. Daarbij bouwen we voort op de kennis opgedaan in de hierboven genoemde kennis (TNO en Provincie Noord-Holland).

Voor een vijftal toepassingen zijn causale relatiediagrammen opgesteld.

- Smart Werkgeversbenadering en Telewerken
- Navigatie
- In-car verkeersinformatie
- Rijtaakautomatisering (ACC/CACC)
- IVRI

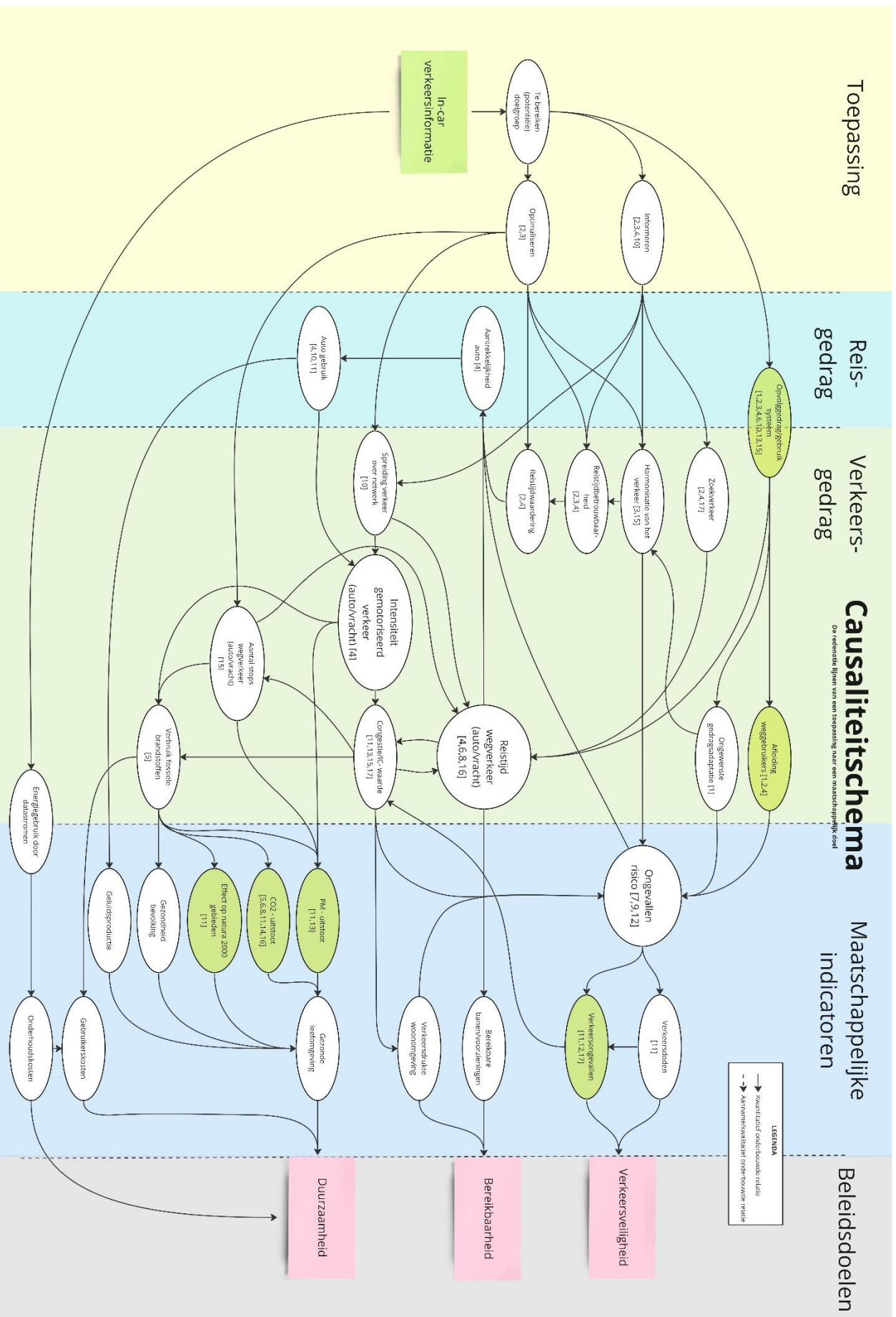
Momenteel wordt gewerkt aan een causaal relatiediagram voor logistiek.

Hieronder lichten we beschrijving van twee causaal relatiediagrammen uit bovenstaande opsomming uit: in-car verkeersinformatie en rijtaakautomatisering (ACC/CACC).

### **In-car verkeersinformatie**

Effecten van in-car verkeersinformatie bevatten met name reistijd wegverkeer, congestie en IC-waarde, verkeersongevallen, verbruik fossiele brandstoffen, PM en CO<sub>2</sub>-uitstoot en het effect op de Natura 2000 gebieden. Dit is te zien in onderstaande causale diagram.

In-car verkeersinformatie leidt tot een betere informatievoorziening van de weggebruiker. Effect hiervan is dat de gereden snelheid iets toeneemt. Van de effecten van in-car verkeersinformatie is een versnipperd beeld beschikbaar en is de oorzaak niet altijd duidelijk: Komt het effect door een verbeterde informatievoorziening, of door omgevingsfactoren?



Tabel 1- Bronnenlijst In-car verkeersinformatie

	<b>Titel</b>	<b>Organisatie</b>
1	Onderzoek rijtaakondersteunende systemen (ADAS) 2021: bezit, (veilig) gebruik en waardering	Rijkswaterstaat
2	Monitor wegverkeegerelateerde informatiediensten 2021	Rijkswaterstaat
3	Monitor wegverkeegerelateerde informatiediensten en rijtaakondersteunende systemen in vrachtverkeer 2019	Rijkswaterstaat
4	Digitale reisinformatie: Gebruik en gepercipieerde effecten bij auto- en ov-reizen	KiM
5	Contrast (Controlled Traffic Support Technology) Pilot	TNO
6	Monitoring en evaluatie projecten Brabant in-car 2	Regio Eindhoven, Provincie Noord-Brabant, Ministerie IenW
7	Data for Road Safety	Sweco
8	Impact gebiedsgerichte realisatie: ex-ante berekening 5 werkprogramma's	Mu-consult
9	Gebruik data voor planning en routing - logistiek	SmartwayZ
10	Toolbox Slimme Mobiliteit RWS - Factsheet In-app notificaties	Rijkswaterstaat, Ministerie IenW
11	The impact of emerging technologies on the transport system	CE Delft/TNO
12	De maatschappelijke waarde van Smart Mobility	Provincie Noord-Holland
13	Effecten van benutting in Nederland	Rijkswaterstaat
14	Kansen voor sturen op duurzaamheidsdoelstellingen bij Smart Mobility	TNO iov Rijkswaterstaat
15	Smart Mobility in relatie tot de doorstroming op de weg	KiM
16	Directive 2010/40/EU Progress Report 2017-2020 CO2 uitstoot	Ministerie IenW, TwynstraGudde, Decisio
17	Impact van C-ITS use cases	TrafficQuest

Uit de monitor wegverkeegerelateerde informatiediensten van Rijkswaterstaat 2021 blijkt dat 95% van de respondenten beschikt over één of meer navigatiesystemen waarop in-car verkeersinformatie ontvangen kan worden. Er is duidelijke groei te zien in gebruik en opvolging vergeleken met een paar jaar geleden: De meeste automobilisten (85%) zoekt wel eens routeinformatie op voorafgaand aan de rit. In de meeste gevallen (92%) volgen automobilisten de informatie die vooraf is opgevraagd. Tijdens de rit gebeurt dit in mindere mate: 50% van de respondenten raadpleegt route informatie (bron 2 uit tabel 1). In onbekende situaties is dit percentage hoger en kan daarmee het zoekverkeer verminderen.

Met toenemende toegang tot digitale reisinformatie kan ook het reisgemak veranderen. Reisinformatie bespaart tijd en levert meer zekerheid over de reis en kan ervoor zorgen dat men een andere route of modaliteit kiest. Dit kan er voor zorgen dat het autogebruik verhoogt (bron 4 uit tabel 1). 30-60% van de respondenten vindt dat in-car verkeersinformatie zorgt voor afleiding (bron 1 uit tabel 1), bijvoorbeeld door gesproken meldingen, het bedienen van het navigatiesysteem, of doordat het systeem het zicht van de bestuurder ontnemt. Ongeveer 10% van de respondenten geeft aan het lastig te vinden de informatie te gebruiken (bron 4 uit tabel 1).

In-car verkeersinformatie en slimme routing hebben een groot potentieel voor congestievermindering. Een optimaler keuzegedrag leidt tot een meer evenwichtige verdeling van verkeer en gelijkmatigere snelheden van de voertuigen, mits zij hun snelheidsadviezen opvolgen. Er is een lager brandstofverbruik (bron 13 uit tabel 1) en 7% lagere uitstoot van CO<sub>2</sub> te zien in het geval in-car snelheidsadviezen werden getoond (bron 5 uit tabel 1).

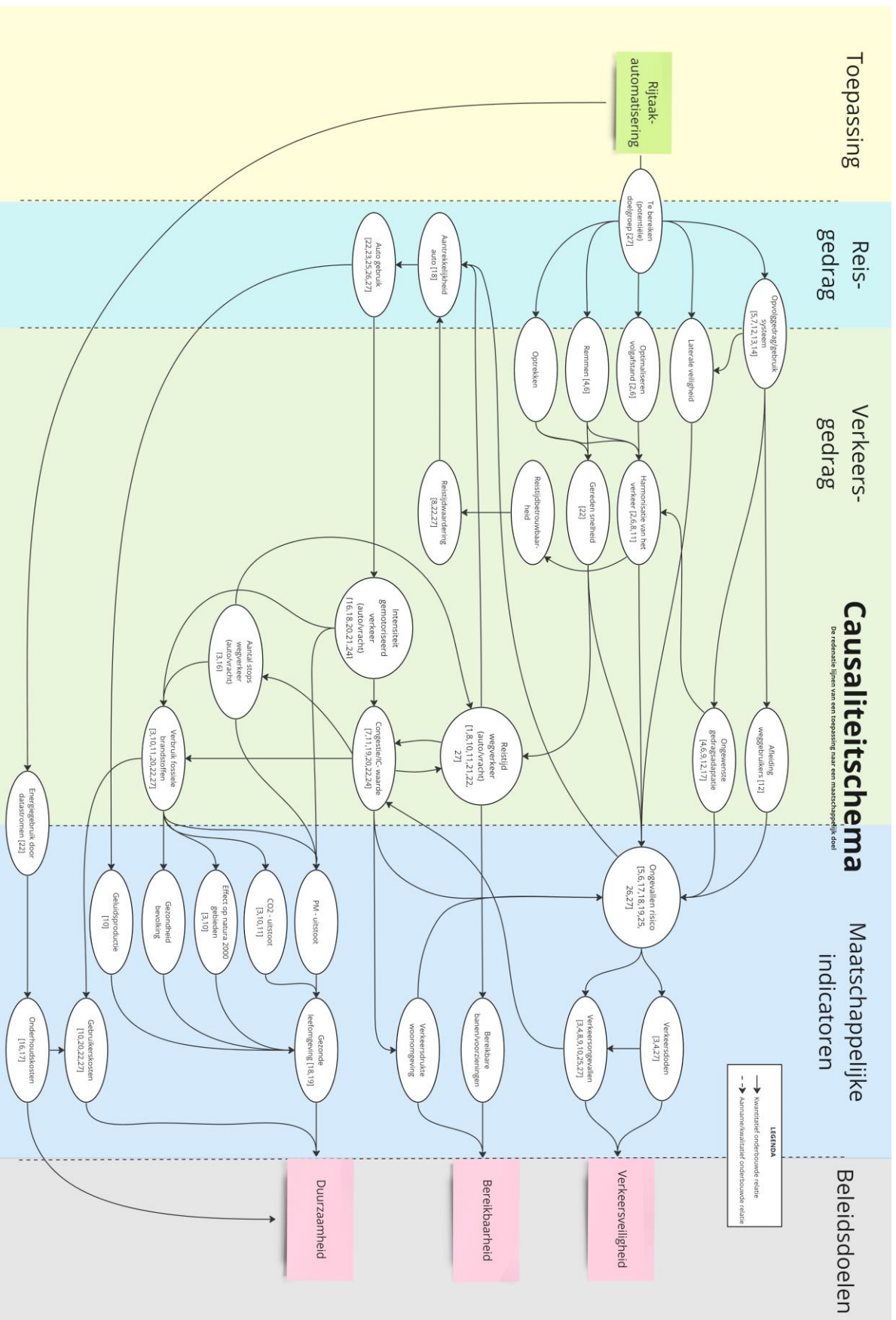
Voertuiggegevens vormen een belangrijke bron van informatie voor de inzet van hulpverleners, maar ook voor de verkeersveiligheid. Uit evaluatieonderzoeken naar in-car notificaties blijkt dat weggebruikers hun snelheid tijdig aanpassen bij in-car meldingen van ongevallen en pechgevallen (bron 7 uit tabel 1).

In de onderzochte literatuur en onderzoeksresultaten valt op dat er weinig aandacht wordt besteed aan de negatieve effecten van in-car informatie. Veel studies richten zich voornamelijk op de positieve effecten en verantwoording van gespendeerd budget. Eén van de aandachtspunten die naar voren komt is de toename van afleiding van de weggebruiker bij het gebruik van in-car verkeersinformatie.

### **Rijtaakautomatisering (ACC/CACC)**

Momenteel zijn met name effecten op reistijd wegverkeer, verkeersongevallen, CO<sub>2</sub> uitstoot en het verbruik van fossiele brandstoffen inzichtelijk. De reisgedrag- en on-trip factoren zijn beperkt onderbouwd in de huidige literatuur over (C)ACC. Uit de literatuur volgt dat ACC kan leiden tot een toename van vertragingen, omdat een extra veiligheidsmarge gehanteerd wordt, waardoor ze langzamer optrekken en een grotere afstand tot andere voertuigen bewaken. CACC-voertuigen bewaren daarentegen een kortere afstand en hierdoor wordt juist de voertuigverliesuren en aantal stops kleiner. De effecten van CACC zijn vaak onderzocht in combinatie met iVRI toepassing, waardoor de effecten van CACC deels afhankelijk zijn van de iVRI.





Tabel 2– Bronnenlijst Rijtaakautomatisering (ACC/CACC)

	<b>Titel</b>	<b>Organisatie</b>
1	CACC Proef Noord-Holland	TNO
2	Schoon, slim en veilig reizen in Noord-Holland	Provincie Noord-Holland
3	Uitvoeringsprogramma Smart Mobility (2018-2021): Evaluatie van individuele projecten	Goudappel
4	Veiligheidseffecten van rijtaakondersteunende systemen	SWOV
5	Rijhulpsystemen en ongevalsrisico's	Verbond van verzekeraars
6	Intelligente transport- en rijhulpsystemen (ITS en ADAS)	SWOV
7	Smart mobility in de relatie tot doorstroming op de weg	KIM
8	Summary of Impacts, Benefits and Costs of Highly Automated Driving	European ITS platform
9	Wie stuurt? Verkeersveiligheid en automatisering in het wegverkeer	Onderzoeksraad voor Veiligheid
10	Kwantitatieve effectbepaling Smart Mobility	Provincie Noord-Holland
11	Een overzicht van Smart Mobiliteitsmaatregelen	Rijkswaterstaat
12	Onderzoek rijtaakondersteunende systemen (ADAS) 2022; bezit, gebruik, waardering en kennisniveau	RWS , MuConsult
13	Monitor Rijtaakautomatisering (ADAS): bezit, bekendheid, gebruik en kennisniveau	RWS, MuConsult
14	Europese studie: Pilot experimental plans, KPIs definition & impact assessment framework for pre-demo evaluation	Show project, EC
15	Ontwikkeling ADAS in vrachtwagens en bestelauto's 2020	VMS insight iov RWS
16	Road work ahead- The emerging revolution in the road construction industry	McKinsey
17	Het effect van ADAS op schadeherstel, onderhoud en reparatie	BOVAG, VMS
18	Social impact assessment of AV's	Interreg
19	Kansen voor sturen op duurzaamheidsdoelstellingen bij Smart Mobility	TNO iov RWS
20	Economic implications of connected and automated mobility in Europe.	EC
21	Impactstudie autonome voertuigen	Provincie NH
22	Prognose effecten zelfrijdende voertuigen België	Federaal Planbureau
23	The impact of emerging technologies on the transport system	CE Delft/TNO
24	De maatschappelijke waarde van Smart Mobility	Provincie NH
25	Road safety impacts of Connected and Automated vehicles	SWOV
26	SURF/STAD onderzoek – stedelijke economische effecten	Verkeerskunde/VU
27	Evaluatie zelfrijdende functies - verkeersveiligheid	Volkswagen Group Innovation
28	Succesvolle mobiliteitstransitie met adaptieve reisbegeleiding	TNO
29	Ontwikkeling ADAS in personenauto's 2020	VMS insight iov RWS

In 2022 was in 40% van de voertuigen ACC aanwezig (bron 5 uit tabel 2). In 92% van de gevallen waarin het voertuig beschikt over het systeem geven de gebruikers aan ACC ook daadwerkelijk te gebruiken (bron 13 uit tabel 2). Genoemde reden om deze systemen te gebruiken is meestal meer ontspannen (68%), veiliger (57%) of zuiniger (25%) rijden (bron 12 uit tabel 2).

Een van de meest beschreven positieve sociale effecten van rijtaakautomatisering is een verhoogd comfort (bron 18 uit tabel 2). Dit kan echter ook leiden tot negatieve effecten:

Het vertrouwen van bestuurders op technologie maakt hen minder alert. Rijprocesbewaking leidt bijvoorbeeld tot langere reactietijden, omdat de bestuurder niet continu focust op de weg (soms meer dan zes seconden in plaats van ongeveer twee seconden). Daarnaast geven respondenten in diverse studies aan dat zij minder aandachtig en alert hoeven te zijn als zij rijden met CACC (bron 12 uit tabel 2).

CACC heeft vaak een positieve invloed op de verkeersdoorstroming (bron 7 uit tabel 2), omdat connectiviteit tussen voertuigen ervoor zorgt dat zij minder heftig reageren op snelheidsveranderingen in vergelijking met voertuigen die alleen ACC gebruiken (bron 27 uit tabel 2). Experimenten met CACC-voertuigen toonden grote verbetering in de harmonisatie tussen voertuigen in vergelijking met voertuigen zonder. Ook wordt een conservatiever rijgedrag en een veiligere volgafstand gehanteerd, wat leidt tot brandstofbesparing van 3% of meer en een verlaging van de CO<sub>2</sub>-uitstoot. Door de hogere efficiëntie en grotere toegankelijkheid voor (nieuwe) gebruikers kan het autogebruik en de verkeersintensiteit echter toenemen (bron 11 en 20 uit tabel 2).

### **Dubbel groeipad – blijven creëren van inzichten**

Er komen regelmatig nieuwe inzichten in aanbod, gebruik en effecten voor Smart Mobility. Daarom wordt de monitor Smart Mobility van het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat periodiek geupdate. Daarin worden nieuwe onderzoeken en actualisaties van onderzoeken meegenomen. Ook bij het creëren van inzicht in effect van Smart Mobility op het gebied van bereikbaarheid, leefbaarheid en veiligheid door gebruik van causale relatiediagrammen voorzien we een groeipad.

1. Plan/Do/Check/Act (PDCA) aanpak – het steeds verbeteren en aanvullen van de Kennisbank en causale relatiediagrammen op basis van nieuwe onderzoeken, analyses en evaluatie.
2. Een groeimodel waarin voor steeds meer toepassingen effecten inzichtelijk worden gemaakt of worden aangescherpt. – voor steeds meer toepassingen een causaal relatiediagram maken zodat voor meer toepassingen inzichtelijk wordt welke effecten inmiddels bekend zijn, hoe deze samenhangen en hoe ze ingrijpen op de indicatoren.

### **Afsluiting**

Inzichten creëren doen we samen. Door analyses, rapporten en evaluaties te verzamelen en bundelen creëren we overzicht. Deze inzichten (Kennisbank en causale diagrammen) worden breed gedeeld, via onder andere de Krachtenbundeling en de monitor Smart Mobility van het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat.

Wil je meer weten of wil je een bijdrage leveren? Laat het weten via de auteurs van dit paper.

**Bronnenlijst**

- Monitor Smart Mobility (Ministerie Infrastructuur en Waterstaat, 2023)
- Raamwerk voor monitoring en evaluatie van Smart Mobility diensten in Nederland (TNO, 2017)
- Kwantitatieve effectbepaling Focus Smart Mobility (Provincie Noord-Holland en Goudappel, 2021)

Zie tevens de 2 bronnenlijsten in tabel 1 en 2 (met respectievelijk 17 en 29 bronnen) opgenomen in de paper.