

# Nationaal verkeerskundecongres 2015

## De effecten van automatisch rijden op de verkeersafwikkeling en verkeersmanagement

Isabel Wilmink  
*TrafficQuest en TNO*

Simeon Calvert  
*TNO en TU Delft*

### **Samenvatting**

Met toenemende media aandacht en steeds meer initiatieven vanuit commerciële partijen, lijkt de komst van automatische voertuigen op de weg steeds dichterbij te komen. Wegbeheerders in veel landen worstelen inmiddels met een aantal aspecten hiervan, zoals aspecten op juridische en technische vlak, maar ook wat de gevolgen kunnen zijn voor de verkeersdoorstroming en het daarop aansluitend beleid.

Deze discussiepaper geeft een overzicht van vragen die leven over de impacts van automatisch rijden op de verkeersafwikkeling. Inzicht in een groot aantal variabelen is nodig om een inschatting te maken van de gevolgen. Discussie is nodig over verkeerssituaties waarin de impacts niet per se zo zullen zijn als gedacht, en over wat nodig is om de voordelen van automatisch rijden zo goed mogelijk te benutten.

### **Trefwoorden**

Automatisch rijden, impacts op verkeersafwikkeling, verkeersmanagement

## Inleiding

Automatisch rijden staat sterk in de belangstelling. Diverse proeven worden voorbereid in Nederland en elders in de wereld. Maar als automatische voertuigen in grotere aantallen op de weg verschijnen, wat betekent dit dan voor de verkeersafwikkeling? En in het verlengde daarvan, voor verkeersmanagement? Er worden substantiële verbeteringen van doorstroming, veiligheid en milieu verwacht, maar hoe komen die verbeteringen tot stand en zijn het eigenlijk wel altijd verbeteringen?

TrafficQuest heeft deze vragen opgepakt en in een aantal sessies verkend. Daarbij gaat het om het bepalen wat de belangrijkste impacts zijn van automatisch rijden, vooral daar waar het gaat over doorstroming en bereikbaarheid. Er zijn veel onzekerheden over de invoering van automatisch rijden en de gevolgen voor verkeersstromen. Veel onzekerheden gaan over technische aspecten, zoals de manier waarop de voertuigen uitgerust zullen zijn en welke delen van de rijtaak geautomatiseerd zullen zijn. Andere onzekerheden betreffen gedragsaspecten, zoals hoe bestuurders omgaan met de automatische functies van hun voertuigen, en hoe bestuurders van niet-uitgeruste voertuigen reageren op het 'rijgedrag' van automatische voertuigen. Deze bijdrage bespreekt een aantal vraagstukken met betrekking tot de verkeersafwikkeling en geeft een aantal stellingen waarover discussie noodzakelijk is.

## Niveaus van automatisering

In de discussie over de gevolgen van automatisch rijden is het belangrijk om vast te stellen om welke soort automatisering het gaat. SAE International [2014] geeft een zeer compleet overzicht van niveaus van *automation* (zie Figuur 1). Hoe we precies van 'non-automated' naar 'full automation' gaan is nog onduidelijk, maar voorlopig moet er rekening mee gehouden worden dat voertuigen waarvan een deel van de rijtaak geautomatiseerd is niet plotseling alles kunnen. Een auto met Adaptive Cruise Control (level 1 automatisering) kan bijvoorbeeld wel automatisch de snelheid aanpassen aan die van een voorligger, maar de bestuurder moet zelf sturen en besluiten om wel of niet te gaan inhalen. Het is belangrijk om steeds in het achterhoofd te hebben welke niveaus van automatisering er zijn en welke we op de weg zouden verwachten over een aantal jaren – en daarmee welke verkeerssituaties interessant worden om te bekijken. In de toekomst bij het introduceren van hogere automatiseringsniveaus moet eveneens rekening worden gehouden met de beperkingen van de betreffende systemen. Een voorbeeld is wanneer een automatische voertuig, dat zelf van rijstrook kan wisselen, een verplichte rijstrookwisseling moet uitvoeren, maar daarvoor onvoldoende ruimte ervaart. Stopt een dergelijke voertuig dan midden op een weg totdat een aanvaardbaar gat ontstaat? Of moet de bestuurder het dan weer overnemen? Daarnaast speelt de interactie tussen niet-automatische en automatische voertuigen een rol. Voor lage automatiseringsniveaus lijkt dit weinig problemen op te leveren aangezien een bestuurder normaal gesproken nog met de rijtaak bezig is en in kan grijpen. Maar bij volautomatische voertuigen is hierover nog te weinig bekend.

## Veiligheid en comfort als doel ten opzichte van efficiënte doorstroming

Naast het niveau van automatisering zijn de verwachtingen over welke instellingen gebruikt worden in automatische voertuigen en de mate van verbondenheid van het voertuig met zijn omgeving van belang. De bekende voorbeelden van zelfrijdende voertuigen, zoals de Google car, gaan geheel op hun eigen sensoren af en communiceren niet of nauwelijks met de omgeving. Veiligheid staat voorop, zowel om vertrouwen te geven als vanuit juridisch oogpunt. Dit zal de eerste tijd betekenen dat de instellingen van de systemen die gebruikt worden om automatisch te kunnen rijden waarschijnlijk vrij conservatief zullen zijn. Bijvoorbeeld relatief lange volgtijden (langer dan menselijke bestuurders in drukke situaties aanhouden – die durven in ieder geval tijdelijk erg dicht op elkaar te rijden). En als het

gaat om hiaatacceptatie, bijvoorbeeld bij invoegingen of rijstrookwisselingen, is ook te verwachten dat voorlopig alleen relatief grote hiaten geaccepteerd worden. Dit geldt vooral voor autonome automatische voertuigen (die niet communiceren met andere voertuigen of de infrastructuur), maar zelfs als er sprake is van coöperatie, bijvoorbeeld voertuig-voertuigcommunicatie, zal in eerste instantie veiligheid voorop staan en ook dan zullen de technische instellingen vrij conservatief zijn.

### Summary of SAE International's Draft Levels of Automation for On-Road Vehicles (July 2013)

SAE's draft levels of automation are descriptive rather than normative and technical rather than legal. Elements indicate minimum rather than maximum capabilities for each level. "System" refers to the driver assistance system, combination of driver assistance systems, or automated driving system, as appropriate. NHTSA's levels of automation are provided to indicate approximate correspondence.

NHTSA level	SAE level	SAE name	SAE narrative definition	Execution of steering and acceleration/ deceleration	Monitoring of driving environment	Backup performance of dynamic driving task	System capability (driving modes)
<b>Human driver monitors the driving environment</b>							
0	0	Non-Automated	the full-time performance by the <i>human driver</i> of all aspects of the <i>dynamic driving task</i> , even when enhanced by warning or intervention systems	Human driver	Human driver	Human driver	n/a
1	1	Assisted	the <i>driving mode</i> -specific execution by a driver assistance system of either steering or acceleration/deceleration using information about the driving environment and with the expectation that the <i>human driver</i> perform all remaining aspects of the <i>dynamic driving task</i>	Human driver and system	Human driver	Human driver	Some driving modes
2	2	Partial Automation	the <i>driving mode</i> -specific execution by one or more driver assistance systems of both steering and acceleration/deceleration using information about the driving environment and with the expectation that the <i>human driver</i> perform all remaining aspects of the <i>dynamic driving task</i>	System	Human driver	Human driver	Some driving modes
<b>Automated driving system ("system") monitors the driving environment</b>							
3	3	Conditional Automation	the <i>driving mode</i> -specific performance by an <i>automated driving system</i> of all aspects of the <i>dynamic driving task</i> with the expectation that the <i>human driver</i> will respond appropriately to a <i>request to intervene</i>	System	System	Human driver	Some driving modes
4	4	High Automation	the <i>driving mode</i> -specific performance by an <i>automated driving system</i> of all aspects of the <i>dynamic driving task</i> , even if a <i>human driver</i> does not respond appropriately to a <i>request to intervene</i>	System	System	System	Some driving modes
	5	Full Automation	the full-time performance by an <i>automated driving system</i> of all aspects of the <i>dynamic driving task</i> under all roadway and environmental conditions that can be managed by a <i>human driver</i>	System	System	System	All driving modes

Figuur 1: Automatiseringsniveaus van wegvoertuigen [SAE International, 2014].

### Aandachtspunten bij automatisch rijden

In een werksessie met een aantal leden van TrafficQuest en collega's uit de moederorganisaties (RWS, TU Delft en TNO) is een flink aantal aandachtspunten geïnventariseerd. Een greep hieruit:

- **Verkeersstromen** Hoe veranderen de kenmerken van verkeersstromen? Bijvoorbeeld: Verandert het fundamenteel diagram bij een mix van wel en niet-geautomatiseerde voertuigen? Reageren voertuigen anders op verstoringen zoals een plotseling van strook wisselend of hard remmend voertuig? Verplaatsen schokgolven zich sneller in een stroom met automatische voertuigen? Ziet de capaciteitsval er anders uit? Wordt er meer rechts gereden?
- **Weginrichting** Kunnen automatische voertuigen goed functioneren bij de huidige vormgeving van de weg? Is de belijning adequaat? Kunnen alle ge- en verboden waargenomen worden? En alle overige informatie die langs de weg getoond wordt? Zijn de invoeg- en uitvoegstroken en weefvakken lang genoeg? Wat doen automatische voertuigen eigenlijk als ze aan het einde van de invoegstrook gekomen zijn en nog geen geschikt hiaat hebben gevonden? Wat doen ze als bij wegwerkzaamheden stroken zijn verlegd en de belijning een andere kleur heeft?
- **Interactie** Hoe zullen bestuurders reageren op automatische voertuigen, die niet zoals menselijke bestuurders reageren – niet even gas terugnemen om iemand in te laten voegen,

bijvoorbeeld? Aan de andere kant zullen automatische voertuigen uit veiligheidsoverwegen misschien wel heel beleefd of eigenlijk defensief rijden – en daarmee het verkeer ophouden.

- **Verkeersmanagement** Moeten algoritmes van bestaande verkeersmanagementsystemen aangepast worden (aan de veranderingen in de verkeersafwikkeling)? Moet de signalering bijvoorbeeld anders reageren? Nog sneller dan het nu al doet?
- **Menselijke aspecten** Als de bestuurder nog functioneert als monitor of back-up: kan de bestuurder het wel overnemen als het nodig is? Verleren ze het besturen niet? Zijn ze zich goed bewust van hun taak, en hoe snel kunnen ze het overnemen of zouden ze het moeten kunnen overnemen?
- **Technisch betrouwbaarheid** Hoe zal worden omgegaan (door voertuig en bestuurder) met falen van de elektronica in het voertuig en welke back-upsystemen zijn er (zet het voertuig zichzelf stil, bijvoorbeeld)? Hoe groot is de faalkans?
- **Irreguliere verkeersomstandigheden** Sensoren hebben het nu nog moeilijk bij bepaalde omstandigheden. Dit betreft vaak omstandigheden waarin menselijke bestuurders het ook niet makkelijk hebben, zoals sneeuw. Wat betekent dit voor de verkeersafwikkeling onder slechte omstandigheden?

## Onzekerheden over de gevolgen van automatisch rijden op snelwegen

De verwachting is dat automatisch rijden het eerste ingang vindt op snelwegen, omdat die de meest gestructureerde omgeving bieden om automatisch rijden te faciliteren (gescheiden rijrichtingen, duidelijke markering, ongelijkvloerse kruisingen, geen langzaam verkeer). TrafficQuest heeft geïnventariseerd waar allemaal naar gekeken moet worden om te kunnen bepalen hoe automatische voertuigen de verkeersstroom zouden kunnen beïnvloeden.

Bij rustig verkeer zijn er weinig problemen te verwachten. Het automatische voertuig heeft dan, ook met conservatieve instellingen, alle ruimte om een goede snelheid en strook te kiezen.

Bij druk verkeer zijn er problemen te verwachten. Te denken valt aan scenario's zoals het uitvallen van de automatische besturing in een verder vrij normale verkeersstroom, invoegingen op de snelweg, twee stroken opschuiven op een weefvak, of een afvallende rijstrook waarbij geritst moet worden. De vraag is hoe automatische voertuigen dan functioneren. Dit wordt onder andere bepaald door:

- De technische instellingen van de systemen voor automatisch rijden (automatiseringsniveau, welke rijtaken worden overgenomen, welke veiligheidsmaatregelen zijn daarbij nodig).
- De wetgeving, met betrekking tot wat automatische voertuigen mogen.
- Het rijgedrag van bestuurders van niet-automatische voertuigen in relatie tot hoe automatische voertuigen zich gedragen.
- De mate van coöperatie tussen voertuigen (wordt alleen op de eigen sensoren gereden of wordt ook informatie die de omgeving uitzendt meegenomen).

De technische instellingen van de systemen worden overigens ook deels begrensd door wetgeving. Voor Adaptive Cruise Control is de minimum volgtijd onlangs verlaagd naar 0,8s (wat het comfortabeler maakt het ook in druk verkeer te gebruiken, omdat dit minder gaten oplevert waar andere bestuurders geneigd zijn in te duiken). Dit is echter nog een hogere volgtijd dan wat er door veel menselijke bestuurders nu acceptabel wordt gevonden. Bij coöperatieve Adaptive Cruise Control wordt eerder gedacht aan 0,3s (wat sommige bestuurders overigens weer als oncomfortabel kort zullen ervaren). Om verder te onderzoeken wat de impacts zouden kunnen zijn, moet bepaald worden welke instellingen verwacht worden voor de volgtijd, voor de maximale acceleratie en deceleratie, voor laterale bewegingen (strookwisselingen) en voor gevallen waarin het voertuig er niet meer uitkomt en een noodstop moet maken of de controle terug moet geven aan de bestuurder. En welke instellingen zullen bestuurders kiezen: van zeer behoudend tot agressief? Simulaties met microscopische verkeersmodellen kunnen vervolgens inzicht verschaffen in hoe de verkeersafwikkeling eruit ziet onder

verschillende omstandigheden en met verschillende aannames met betrekking tot de automatisering van de rijtaak. Dan kan ook bekeken worden bij welke aannames we substantiële verbeteringen van de doorstroming kunnen verwachten. Hierbij moet overigens aangetekend worden dat simulatiemodellen vaak moeilijk te kalibreren en valideren zijn, zowel voor het huidige gedrag (bij manuele besturing) als voor het echte gedrag van automatische voertuigen, waarover nog weinig bekend is.

## Stellingen

Graag gaan we de discussie aan over de impacts van automatisch rijden op de verkeersafwikkeling en verkeersmanagement. Als startpunt voor de discussie volgt hieronder een aantal stellingen:

- We weten nog niet genoeg van hoe automatische voertuigen zich zullen 'gedragen' en wat dit betekent voor de verkeersafwikkeling. Dit geldt vooral voor interactie met normale voertuigen in niet homogene verkeerssituaties.
- Als het aandeel automatische voertuigen toeneemt, moeten we rekening houden met een verslechtering van de verkeersafwikkeling en dus meer problemen op bestaande knelpunten, en misschien het ontstaan van nieuwe knelpunten. Hier geldt (in de eerste jaren) veiligheid en comfort boven efficiëntie (van de verkeersafwikkeling).
- Naast automatische voertuigen hebben we vooral coöperatieve voertuigen nodig op de weg. Vooral door coöperatie kan efficiëntie naast veiligheid en comfort staan.

## Referenties

SAE International (2014), *Taxonomy and Definitions for Terms Related to On-Road Motor Vehicle Automated Driving Systems*, SAE International, rapport SAE J 3016, 16 januari 2014.