

Advies praktijkproef Starship bezorgrobot

R-2018-4



Advies praktijkproef

Starship bezorgrobot

R-2018-4

Ir. J.W.H. van Petegem, dr. ir. C.N. van Nes, M.J. Boele, MSc. & ir. R.G. Eenink

Den Haag, 2018

SWOV – Instituut voor Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid

Documentbeschrijving

Rapportnummer:	R-2018-4
Titel:	Advies praktijkproef
Ondertitel:	Starship bezorgrobot
Auteur(s):	Ir. J.W.H. van Petegem, dr. ir. C.N. van Nes, M.J. Boele, MSc. & ir. R.G. Eenink
Projectleider:	Dr. ir. C.N. van Nes
Projectnummer SWOV:	S18.21b
Trefwoord(en):	Vehicle; automatic; behaviour; road user; traffic; safety; test; test method; road traffic; risk assessment; accident prevention; Netherlands; SWOV.
Projectinhoud:	Bij beoordeling van een praktijkproef met (deels) zelfrijdende voertuigen op de openbare weg is de Dienst Wegverkeer (RDW) eindverantwoordelijk voor de ontheffing. SWOV adviseert RDW over de mens-/gedragsaspecten van de betreffende praktijkproef. Deze notitie beschrijft het SWOV-advies over de proef met een bezorgrobot van Starship.
Aantal pagina's:	22 + 18
Uitgave:	SWOV, Den Haag, 2018

De informatie in deze publicatie is openbaar.
Overname is alleen toegestaan met bronvermelding.

SWOV – Instituut voor Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid
Postbus 93113
2509 AC Den Haag
Telefoon 070 317 33 33
Telefax 070 320 12 61
E-mail info@swov.nl
Internet www.swov.nl

Inhoud

1.	Inleiding	5
2.	Beschrijving van de proef	6
2.1.	Gebruikte informatie	6
2.2.	Beschrijving van de proef	6
2.2.1.	Locatie en routes	6
2.2.2.	Fasen in het project	8
2.2.3.	Voertuig	8
2.2.4.	Operator op afstand	9
2.2.5.	Handler als begeleider	9
2.3.	Aannames met betrekking tot de proef	10
3.	Beoordeling van de risico's voor verkeersveiligheid	11
4.	Het SWOV-advies over de proef van Starship met de bezorgrobot	15
4.1.	Veiligheidsadvies op basis van de risicomatrix	15
4.1.1.	Veiligheidsrisico's bij oversteken	15
4.1.2.	Afleiding van overige verkeersdeelnemers	16
4.1.3.	Onoplettendheid of afleiding van de handler en/of operator op afstand	17
4.1.4.	Conflicten op het voetpad	18
4.2.	Aandachtspunten voor een gefaseerde uitrol	19
4.3.	Conclusies	21
Bijlage 1	SWOV-Formulier <i>Benodigde informatie voor de beoordeling van proeven met zelfrijdende voertuigen</i>	23
Bijlage 2	Risicomatrix	29
Bijlage 3	Starship product sheet 6E	33

1. Inleiding

Om innovaties op het gebied van zelfrijdende voertuigen te stimuleren, faciliteert Nederland het testen van zelfrijdende voertuigen op de openbare weg. Het ministerie van Infrastructuur en Milieu heeft een *Testprocedure zelfrijdende voertuigen op de Nederlandse openbare weg* opgesteld, die op basis van maatwerk bij een aanvraag voor een praktijkproef wordt gehanteerd. De procedure bestaat uit drie nauw met elkaar samenhangende onderdelen: voertuig, weg en mens (gedrag). Bij beoordeling van een praktijkproef is de Dienst Wegverkeer (RDW) eindverantwoordelijk voor de ontheffing en verantwoordelijk voor het onderdeel 'voertuig'. De betreffende wegbeheerder of Taskforce Dutch Roads is verantwoordelijk voor het onderdeel 'weg'.

SWOV is gevraagd om RDW te adviseren over de mens-/gedragsaspecten van de proeven, zodat zij deze kunnen meewegen in hun (eind)oordeel voor de ontheffing. Het doel van het SWOV-advies is om de mogelijke risicofactoren te beschrijven en te wegen, om zo te kunnen komen tot een bredere afweging dan op basis van het voertuig alleen en daarmee de veiligheid van te beproeven systemen op de openbare weg te bevorderen.

Deze notitie beschrijft het SWOV-advies over de fasen 1 tot en met 4 van het Starship bezorgrobot-project. In het project bezorgen Starship-robots pizza's voor Domino's in de wijk Hoogvliet in Rotterdam. In fase 1 zal het bezorggebied in kaart worden gebracht, waarbij wordt vastgelegd waar de robot wel of niet mag rijden en kan oversteken. In deze fase wordt de robot bestuurd door een 'handler' die met de robot meeloopt. In de fasen 2 tot en met 4 opereert de robot semi-geautomatiseerd. De Starship-robot zal zelfstandig navigeren op het voetpad, maar bij oversteken wordt aan een 'operator' op afstand om toestemming gevraagd voor het maken van de oversteek. In deze fasen loopt een 'handler' binnen een afstand van 1 m met de robot mee om in te kunnen grijpen indien nodig. In fase 5 van project wordt beoogd dat de robot zelfstandig zal opereren zonder begeleider. Deze fase maakt geen deel uit van dit advies.

Dit SWOV-advies bevat een inventarisatie van de mogelijke verkeersveiligheidsrisico's, een inschatting van de ernst van deze risico's en een advies over hoe deze risico's beperkt kunnen worden. We gaan er hierbij van uit dat de systemen werken zoals beschreven in de beschikbare documentatie. Het SWOV-advies beperkt zich tot de omstandigheden van deze specifieke praktijkproef. Met andere woorden, het zegt niets over de verkeersveiligheidseffecten van deze zelfrijdende voertuigen op een andere locatie, op een ander moment, of over een bredere toepassing van dit soort technologieën in ons verkeerssysteem.

2. Beschrijving van de proef

2.1. Gebruikte informatie

Voor dit advies is gebruikgemaakt van de informatie beschreven in het SWOV-formulier en van aanvullende documenten en antwoorden op vragen, die alle zijn ontvangen via e-mail. Het betreft de volgende documenten:

- beknopt verslag van de startbijeenkomst op 6 juni 2017, per e-mail ontvangen van Pieter van der Stoep op 12 juli 2017;
- Starship projectplan;¹ per e-mail verstuurd naar SWOV door Casper Mooyman op 22-05-2017;
- Starship risico-inventarisatie;²
- Starship 'product sheet 6E';
- Starship snelheidsdocumentatie;³
- werkdocument Starship Pieter van der Stoep (werkdocument starship.docx), per e-mail verstuurd naar SWOV op 22 februari 2017;
- SWOV-formulier, per e-mail ontvangen van Pieter van der Stoep op 8 december 2017;
- verslag locatiebezoek Hoogvliet⁴ op 29 januari 2018 door J.W.H. van Petegem, diezelfde dag verstuurd voor akkoord aan de drie andere aanwezigen bij het locatiebezoek;
- e-mail van Kees-Jan den Draak van Domino's op 1 februari 2018, betreffende antwoorden op vragen zoals genoemd in het verslag van het locatiebezoek Hoogvliet.

2.2. Beschrijving van de proef

In deze proef zal een semi-geautomatiseerde bezorgrobot van Starship Technologies pizza's bezorgen. Dit gebeurt in samenwerking met Domino's Pizza Enterprise Limited (DPE). Het doel van het project is de realisatie van een volledig geautomatiseerde bezorging van pizza's vanaf de pizzeria tot het afleveradres. De bezorging wordt daarbij uitgevoerd door een robot die zelfstandig zijn route kiest en navigeert op de stoep. Bij oversteken vraagt de robot toestemming aan een operator op afstand. Deze operator bevindt zich in Tallinn, Estland, of in Washington D.C., Verenigde Staten.

2.2.1. Locatie en routes

De proef vindt plaats in Rotterdam in de wijk Hoogvliet. Het bezorggebied is aangegeven in het SWOV-formulier in *Bijlage 1*. Hierin zijn geen routes aangegeven, alleen het gehele gebied waar de proef gaat plaatsvinden. De robot rijdt op het voetpad en kruist bij het oversteken rijbanen en fietspaden.

¹ Mooyman, C. (2017). *Domino's robot delivery plan*. Version 1.0. Starship.

² Starship (2017). *Starship delivery robots. Safety concept: analysis of operating a fleet of light delivery robots*. Starship.

³ Starship (2016). *Starship Speed limits*. Version 1.0. date 23-08-2016. Starship.

⁴ Op dit locatiebezoek waren aanwezig K.J. den Draak (Domino's), R. de Jong (gemeente Rotterdam), P. van der Stoep (RDW) en J.W.H. van Petegem (SWOV).

Omdat de locatie van de proef een gebied betreft, en geen vaste routes, heeft SWOV de locatie bezocht en tevens met behulp van Google Maps en Streetview een globaal beeld van het testgebied verkregen. Dit heeft geen volledige, maar wel een globale gebiedsbeschrijving opgeleverd,⁵ waarover in het algemeen het volgende kan worden opgemerkt:

- Een groot deel van het gebied betreft zones met een snelheidslimiet van 30 km/uur.
- Binnen de 30km/uur-zones wordt veel geparkeerd. Op veel oversteekplekken wordt het zicht beperkt door geparkeerde auto's.
- Binnen de 30 km/uur-zones zijn de rijbanen overwegend ruim, met twee rijrichtingen. Gereden snelheden zijn hier niet bekend.
- Het start- en eindpunt van de robot ligt in een winkelcentrum, op de hoek van een plein. Verplaatsingspatronen van voetgangers zijn hier willekeurig.
- Rond het winkelcentrum ligt een gebiedsontsluitingsweg met een snelheidslimiet van 50 km/uur.
- Een aantal kruispunten of oversteekvoorzieningen bij de gebiedsontsluitingsweg rond het start-/eindpunt zijn vormgegeven als voetgangersoversteekplaats (VOP). Op sommige locaties zijn daarbij snelheidsdrempels aanwezig.
- Er is een aantal rotondes in het gebied aanwezig met voetgangers in de voorrang.
- In het gebied liggen verschillende gebiedsontsluitingswegen met een snelheidslimiet van 50 km/uur. Op deze wegen rijden ook bussen. Oversteekvoorzieningen (voetgangersoversteekplaatsen en verkeerslichten) zijn op deze wegen slechts beperkt aanwezig. Voetgangers worden geacht van stoep tot stoep over te steken waar een oversteekvoorziening ontbreekt. Ook fietsvoorzieningen zijn op deze gebiedsontsluitingswegen slechts beperkt aanwezig; soms zijn er fietsstroken. Langs deze wegen zijn vaak parkeervakken aanwezig. De Speerreep is een voorbeeld van zo'n gebiedsontsluitingsweg; hier is geen oversteekvoorziening aanwezig tussen de kruispunten met de Aalreep en die met de Kruisnetlaan, een traject van 450 meter.



Afbeelding 2.1. *Straatbeeld van de Speerreep, met parkeervakken en fietsstroken, en zonder oversteekvoorzieningen over een traject van enkele honderden meters. Bron: Globespotter – Cylcomedia.*

⁵ De globale gebiedsbeschrijving is door SWOV gemaakt op basis van een beeldanalyse van het gebied dat staat aangegeven op de plattegrond in het SWOV-formulier.

2.2.2. Fasen in het project

Binnen het Starship projectplan worden vijf fasen onderscheiden:

“Phase 1: mapping the delivery area
Phase 2: testing deliveries with test accounts
Phase 3: testing first customer deliveries
Phase 4: switch to semi-automated delivery & automated customer opt-in
Phase 5: switch to full automated delivery”

Domino's robot delivery plan; Version 1.0

Fase 1 is gericht op de kartering van het gebied. In deze fase wordt een aantal omstandigheden vastgelegd, zoals: waar de robot wel en niet mag rijden, waar obstakels zijn, waar oversteekpunten zijn en de robot mag oversteken. Ook worden oriëntatiepunten in de robot vastgelegd, die deze later kan gebruiken voor de navigatie. In deze fase wordt de robot volledig bestuurd door een 'handler' die zich binnen 1 m van de robot bevindt en is geen sprake van semi-geautomatiseerd opereren door de robot. De robot doet in deze fase enkel waarnemingen.

In de fasen 2 tot en met 4 wordt overgegaan tot de bezorging van pizza's en zal de robot semi-geautomatiseerd rijden. De robot navigeert hierbij zelfstandig en kiest ook zelf zijn route. Op het voetpad beweegt de robot zelfstandig voort en bij oversteken wordt toestemming gevraagd aan een operator op afstand. Deze operator moet vanuit de controlekamer nagaan of een oversteek kan plaatsvinden en geeft hiervoor toestemming als dit volgens de operator veilig kan. De robot steekt dan zelfstandig over en vervolgt daarna zijn weg. In deze fasen loopt er met de robot altijd een handler mee, die kan ingrijpen in geval van nood of wanneer de robot zijn weg niet kan vervolgen door onvoorziene omstandigheden. De fasen 2 tot en met 4 verschillen niet in de wijze waarop de robot opereert, maar alleen in de manier van interactie tussen Domino's en zijn (virtuele) klanten.

In fase 5 wordt overgegaan op geautomatiseerd opereren van de robot zonder handler ter plaatse. De robot navigeert dan zelfstandig en neemt contact op met de operator op afstand voor het vragen van toestemming om over te steken. Er loopt dan niemand meer met de robot mee. Deze fase wordt in dit advies buiten beschouwing gelaten, omdat pas kan worden nagegaan onder welke voorwaarden fase 5 veilig kan plaatsvinden nádat de fasen 1 tot en met 4 zijn voltooid en geëvalueerd.

2.2.3. Voertuig

Het voertuig betreft een robot van Starship Technologies en is geschikt voor het vervoeren van kleine pakketten. In deze proef vervoert de robot eten en drinken van Domino's pizza. De robot is niet geschikt voor het vervoeren van personen. De versie van de robot wordt aangeduid als '6E'. De specificaties van de robot staan beschreven in de 'product sheet', zoals opgenomen in *Bijlage 3*.

Voor detectie van obstakels en andere weggebruikers gebruikt de robot radarsensoren. Ook is de robot uitgerust met 9 camera's waarmee de omgeving 360 graden rond het voertuig in beeld wordt gebracht.

De afmetingen van de robot zijn: 697 (L) x 569 (B) x 571 (H) mm. Op een hoogte van 1187 mm steekt een vlag uit om de zichtbaarheid van de robot te vergroten. De robot heeft een gewicht van 25 kg en een maximum laadvermogen van 10 kg. Verder is de robot voorzien van verlichting (voor en achter) en wordt een maximumsnelheid van 6 km/uur aangehouden.

De maximumsnelheid (6 km/uur) van het voertuig ligt hoger dan die van de gemiddelde voetganger. Tijdens het navigeren op de stoep kan de robot zelfstandig voetgangers, rolstoel- of scootmobielrijders passeren of inhalen wanneer deze stilstaan of zich langzaam voortbewegen.

Het voertuig vertraagt zijn snelheid of stopt wanneer het obstakels of verkeersdeelnemers op zijn pad waarneemt, of in situaties met een verhoogd risico, zoals oversteken.

Door de lage snelheid en het beperkte gewicht kan de robot direct tot stilstand komen.

Bij systeemfalen parkeert het voertuig zichzelf op de stoep of maakt het de oversteek af en komt het daarna als nog tot stilstand, bijvoorbeeld wanneer de verbinding tussen de robot en de controlekamer wordt verbroken.

2.2.4. *Operator op afstand*

Een operator op afstand kan de robot volgen gedurende zijn rit. Deze operator bevindt zich in Estland of in de Verenigde Staten.

De operator heeft informatie over de sensoren, krijgt van die sensoren waarnemingen door, en beschikt over de camerabeelden van de robot. Bij een oversteek of een andere complexe situatie vraagt de robot hulp van de operator op afstand. Deze geeft toestemming voor een oversteek en neemt de controle over als de robot een situatie niet zelfstandig kan oplossen. In afwachting van de beslissing van de operator staat de robot stil.

Een operator houdt tijdens fase 2 tot en met 4 maximaal 10 robots tegelijk in de gaten.

2.2.5. *Handler als begeleider*

Gedurende de fasen 2 tot en met 4 loopt er met de robot continu een handler mee. Deze kan ingrijpen in geval van nood. De handler loopt mee binnen een afstand van maximaal 1 m van de robot.

De handler kan de besturing van de robot overnemen als de robot een situatie niet kan oplossen. Indien de robot een situatie niet kan oplossen zal deze stoppen en een oproep doen naar de operator op afstand. Zowel de handler ter plaatse als de operator op afstand kunnen in deze situatie ingrijpen. Een duidelijk protocol dat beschrijft welke van de twee in welke situaties ingrijpt is niet beschikbaar.

Tijdens fase 1 functioneert de handler ter plaatse als bestuurder van de robot. Tijdens deze fase wordt de omgeving in kaart gebracht en kan de robot nog niet zelfstandig navigeren.

Bij het locatiebezoek hebben de vertegenwoordigers van Domino's, RDW en de gemeente Rotterdam aangegeven dat het de bedoeling is om de handler gedurende de looptijd van de proef een grotere afstand tot de robot te laten aanhouden dan de 1 m die in het projectplan van Starship staat aangegeven. Dit om de interactie tussen robot en overige verkeersdeelnemers beter te kunnen waarnemen.

2.3. Aannames met betrekking tot de proef

Enkele zaken die belangrijk zijn voor de beoordeling van de proef en voor dit advies kunnen niet direct uit de gebruikte informatie worden afgeleid. Om deze reden zijn de volgende aannames gedaan:

- De proef vindt plaats in alle weersomstandigheden, ook in het donker, bij regen of bij beperkt zicht.
- De operator op afstand moet op basis van de doorgestuurde video-beelden besluiten of een oversteek veilig kan plaatsvinden.
- De robot voert de oversteek zelfstandig uit na het verkrijgen van toestemming van de operator op afstand.
- Gedurende de looptijd van de proef zal de robot rijden in het gehele gearceerde gebied, zoals aangegeven op het SWOV-formulier (zie *Bijlage 1*).
- De handler die meeloopt met de robot zal gedurende de proef meer afstand van de robot gaan nemen dan de aangegeven 1 m in het projectplan, om de interactie tussen de robot en andere verkeersdeelnemers te kunnen waarnemen.
- Omdat er geen termijn voor de proef is aangegeven, wordt aangenomen dat de robot gedurende een jaar zal rijden (de maximale termijn voor de aanvraag van de praktijkproef) .
- We nemen aan dat weggebruikers veelal niet bekend zullen zijn met de robot, of erover geïnformeerd zullen zijn, ondanks informatieverstrekking over de proef in de buurt.

3. Beoordeling van de risico's voor verkeersveiligheid

Om de risico's in deze proef te beoordelen is het volgende expertteam (allen SWOV-onderzoekers) samengesteld:

- M.J. Boele, MSc (psycholoog; expertise cognitieve psychologie en platooning trucks);
- ir. R.G. Eenink (technisch natuurkundig ingenieur, expertise technologie en gedrag);
- dr. ir. C.N. van Nes (industriële ontwerper; expertise human factors en interactie met (deels) zelfrijdende voertuigen);
- ir. J.W.H. van Petegem (civiel ingenieur; expertise relatie tussen wegontwerp en verkeersveiligheid).

In een consultatie met deze experts op 19 december 2017 zijn potentiële risico's in kaart gebracht. Van deze sessie is een geluidsopname gemaakt; deze dient als 'naslagwerk' voor intern gebruik.

Risicomatrix

Voor het advies is gebruikgemaakt van de door SWOV ontwikkelde risicomatrix (zie *Bijlage 2*). In de matrix worden drie niveaus van automatisering onderscheiden: gedeeltelijke, conditionele en volledige automatisering. De proef van Starship is op het derde niveau – volledige automatisering – beoordeeld. In de fasen 2 tot en met 4 voert de robot alle rijtaken zelfstandig uit. Bij oversteken vraagt de robot eerst om toestemming tot oversteken aan de operator op afstand. Een handler ter plaatse loopt mee om in te grijpen indien noodzakelijk, maar laat de robot bij normaal functioneren zelfstandig opereren.

De tabel op de volgende pagina's toont de uitgewerkte risicomatrix voor deze praktijkproef. De risico's zijn verdeeld in vier categorieën:

1. Risico's die kunnen spelen bij de interactie van de operator(s) met het geautomatiseerde systeem in het voertuig.
2. Risico's die kunnen spelen bij de interactie tussen het voertuig (en zijn bestuurder) en andere verkeersdeelnemers.
3. Risico's die samenhangen met de locatie en het moment van de praktijkproef. Hierbij zijn de route en de plaats op de weg belangrijke uitgangspunten.
4. Algemene risico's die samenhangen met de projectinrichting en management.

De kolommen van de matrix beschrijven het volgende:

- In de eerste kolom staat het beoordelingscriterium.
- In de tweede kolom volgt een toelichting op het criterium.
- In de derde kolom staat aangegeven of het risico van toepassing is op deze praktijkproef. Hiervoor is consensus gezocht tussen de experts.
- In de laatste kolom wordt aangegeven wat de kans is dat het risico zich tot een kritische situatie ontwikkelt en wat dan de gevolgen in termen van letsel zijn (* = klein, ** = middelgroot en *** = groot). Elke expert heeft hiervoor een individuele inschatting gegeven. Voor de uiteindelijke

inschatting op *kans en gevolg* is de modus (de beoordeling die het vaakst voorkomt) bepaald.⁶

Alle relevante risico's zijn in zwart weergegeven. Als een beoordelingscriterium niet van toepassing is op de praktijkproef, of reeds is afgedekt, is deze in lichtgrijs weergegeven. In de derde kolom is aangegeven waarom deze niet van toepassing is en/of geen risico vormt. De 'kans/gevolg'-beoordeling is niet kwantitatief, en geeft dus geen oordeel over het absolute risico of de gevolgen in termen van letsel. De beoordeling wordt gebruikt als indicatie welke risico's volgens de experts het meest relevant zijn.

		Toelichting op beoordelingscriterium	Toepassing op deze praktijkproef?	Kans / Gevolg
1. Interactie met systeem/voertuig				
Opleiding		Is de controller/operator opgeleid om beslissingen te kunnen nemen?	Zowel de operator op afstand, als de handler ter plaatse zijn mogelijk onvoldoende bekend met de Nederlandse verkeersregels. Hierdoor kunnen niet alleen onveilige locaties ten onrechte worden goedgekeurd tijdens de kartering, maar ook kunnen complexe verkeerssituaties worden onderschat.	* / **
Nieuwe / andere vaardigheden		Heeft de controller/operator genoeg informatie om de juiste beslissing te nemen?	De operator op afstand laat de robot mogelijk op een onveilig moment oversteken door verschillende oorzaken: <ul style="list-style-type: none"> • De robot is te laag om een goed overzicht te kunnen geven van de verkeerssituatie en heeft last van zichtbeperkende obstakels • Beelden zijn mogelijk van onvoldoende kwaliteit om de verkeerssituatie op afstand goed te kunnen beoordelen; de kwaliteit kan afnemen door omstandigheden (donker, mist) • Waarnemen van nooddiensten (sirene, zwaailicht) gaat mogelijk niet goed 	*** / **
Transition of control	Mentale Taakbelasting	Is de taak mentaal belastend of juist (te) weinig belastend?	De mentale taakbelasting van de handler ter plaatse is laag, waardoor de kans op afleiding van de controlerende taak (bijvoorbeeld door de omgeving of mobiele telefoon) groot is. Wanneer een urgente situatie zich voordoet kan daardoor mogelijk niet op tijd worden ingegrepen.	** / **
	Situation Awareness	Blijft de operator/controller 'in the loop' (bewust van de verkeerssituatie)? Wordt de controller/operator tijdig geïnformeerd door het voertuig, zodat hij de rijtaken over kan nemen?	Wanneer de operator op afstand meerdere voertuigen beheert, of juist bij een lage taakbelasting (slechts één enkel voertuig onder beheer) is afgeleid, zit deze niet meer 'in the loop'. Daardoor duurt het enige tijd voordat de operator op een juiste manier kan ingrijpen wanneer het systeem aangeeft dat dit nodig is.	** / **
Falen Systeem		Wordt duidelijk aangegeven dat het systeem niet (meer) werkt? En wat gebeurt er als het voertuig onverwacht stopt (wordt aangegeven dat er iets aan de hand is)?	Bij systeemfalen is de handler ter plaatse niet in staat een risico snel genoeg op te lossen.	* / *
Onverwachte gebeurtenis		Is er een protocol voor onverwachte gebeurtenissen (overstekende dieren/voetganger; object of file op het traject; lekke band)?	Er is een risico-inventarisatie gemaakt met interventies/mitigerende systemen en handelingsprotocollen. (<i>Starship delivery robots. Safety concept: analysis of operating a fleet of light delivery robots, 2017</i>)	-

⁶ Bij een 'gelijke stand' in het oordeel van de experts is het hoogst aantal sterren aangehouden.

	Toelichting op beoordelingscriterium	Toepassing op deze praktijkprof?	Kans / Gevolg
Oneigenlijk gebruik van het systeem	Hoe wordt misbruik (bijvoorbeeld inschakelen op verkeerde moment) tegengegaan?	In deze fase zijn een handler ter plaatse en operator op afstand gezamenlijk verantwoordelijk voor het voertuig. Oneigenlijk gebruik lijkt daarom onwaarschijnlijk.	-
2. Interactie met andere weggebruikers			
Informatie	Zijn andere weggebruikers geïnformeerd?	We nemen aan dat weggebruikers veelal niet bekend zullen zijn met de robot, of erover geïnformeerd zullen zijn, ondanks informatieverstrekking over de proef in de buurt..	-
Afleiding	Zijn de kenmerken van de voertuigen zo opvallend dat overig wegverkeer hierdoor kan worden afgeleid?	Overige verkeersdeelnemers worden afgeleid door de bijzondere robot en letten niet meer goed op het andere verkeer.	** / **
Voorspelbaarheid	Reageert het voertuig conform verwachtingen van andere weggebruikers?	De robot heeft geen herkenbare status als verkeersdeelnemer. Daardoor zal verkeer op de rijbaan niet of onvoldoende anticiperen op de aanwezigheid van de robot. De robot wordt mogelijk ten onrechte genegeerd totdat deze zich op de rijbaan begeeft.	*** / **
		Wanneer verkeersdeelnemers de robot waarnemen weten ze niet wat de robot gaat doen en wat er van hen verwacht wordt. Zo is het bijvoorbeeld mogelijk niet duidelijk of een robot wil gaan oversteken als deze aan de rand van de stoep staat. Ook is onduidelijk welke voorrangregels op de robot van toepassing zijn. Dit kan verwarrend zijn voor andere verkeersdeelnemers en leiden tot onvoorspelbare reacties. Op de stoep kan het voor voetgangers onduidelijk zijn wat een (stilstaande) robot gaat doen totdat deze zich duidelijk in een bepaalde richting voortbeweegt.	*** / **
(Anticiperen op) onverwacht gedrag andere weggebruikers	Kan de handler/operator/het voertuig anticiperen op onverwacht gedrag van andere weggebruikers? (Bijvoorbeeld weggebruikers die gangbare informele verkeersregels toepassen, die tegenstrijdig zijn met de formele verkeersregels)	Mensen kunnen schrikken en onvoorspelbaar reageren bij het (te laat) waarnemen van de robot, zoals bijvoorbeeld een onverwachte noodstop maken.	* / **
Verkeersregels	Volgt het voertuig de verkeersregels en -tekens?	Bij het oversteken wacht de robot tot toestemming door de operator wordt verleend. De robot zal zich dus niet aan de informele verkeersregels bij oversteken houden wanneer hem door een weggebruiker voorrang wordt verleend. De robot wacht immers op toestemming van een ander. Wanneer dit te lang duurt, zal het voorrang verlenende voertuig weer gaan rijden.	* / **
Oneigenlijk gebruik	Is er voldoende rekening mee gehouden dat andere weggebruikers het voertuig willen uittesten? Bijvoorbeeld: andere weggebruikers testen of het voertuig inderdaad automatisch remt	Er loopt een handler mee die oneigenlijk gebruik door anderen tracht te voorkomen	-
Kopieergedrag	Wat is de kans dat andere weggebruikers op onwenselijke wijze gedrag van automatische voertuigen overnemen?	Kopieergedrag van dit voertuig wordt niet verwacht	-

	Toelichting op beoordelingscriterium	Toepassing op deze praktijkproef?	Kans / Gevolg
3. Locatie en tijden praktijkproef			
Plaats op de weg: massa, snelheid en omvang	Is de voorgestelde plaats op de weg de meest veilige als het voertuig mengt met ander verkeer?	Hoewel het voetpad voor de robot de best passende plaats op de weg is, is ook deze niet zonder risico's. De volgende risico's zijn denkbaar:	-
		<ul style="list-style-type: none"> • Rolstoel- of scootmobielrijder voelt zich gedwongen een krappe stoep af te gaan om de robot te kunnen passeren, en loopt daarbij risico op een conflict met een andere weggebruiker of op een val. 	* / ***
		<ul style="list-style-type: none"> • De robot wordt door zijn beperkte hoogte niet opgemerkt (in de drukte), met als gevolg risico op een botsing (met de robot of met andere voetgangers) en/of een val. 	** / **
		<ul style="list-style-type: none"> • De robot is te laag en bij oversteken niet zichtbaar voor verkeer op de rijbaan en op kruispunten. Het gevolg is risico op afdekongevallen of op een (secundair) ongeval door noodingrepen. 	** / **
Route: snelheid en obstakelbeveiliging	Is de snelheid van het voertuig conform de omstandigheden? (bijv. niet te langzaam of te snel voor de omstandigheden) Zijn wegmeubilair en andere obstakels voldoende afgeschermd?	De maximumsnelheid van de robot is 6 km/uur en ligt hoger dan de snelheid van veel voetgangers. De robot haalt in wanneer voorgangers langzamer lopen. Wanneer (veel) voetgangers in verschillende richtingen lopen, leidt dit tot risico's op opstoppingen en botsingen met de lage robot.	* / **
Externe omstandigheden: weer en verkeer	Is er voldoende rekening gehouden met de verwachte weersomstandigheden en verkeersdrukke?	Er is geen protocol dat beschrijft wanneer de proef wel en niet door kan gaan. De proef vindt ook doorgang bij ongunstige weersomstandigheden (donker en/of regen/sneeuw/mist). Indien de sensoren onvoldoende geschikt blijken om onder deze omstandigheden goed te kunnen navigeren, worden andere verkeersdeelnemers mogelijk niet goed herkend. Dit leidt tot problemen bij oversteken en navigeren op het voetpad tussen de voetgangers.	* / **
4. Algemeen			
Projectinrichting & management	Is er een protocol voor incidenten?	Er is geen duidelijk protocol voor incidenten. Wel is er een inventarisatie van risico's gemaakt waarin maatregelen staan beschreven.	* / *
	Is er een protocol voor het overgaan naar een volgende fase in de proef?	Interactie met het overig verkeer vindt voornamelijk of in eerste instantie plaats met de handler ter plaatse. Resultaten van de proef zeggen daarom weinig over de veiligheid in de volgende fase, fase 5, wanneer de robot zelfstandig functioneert zonder handler ter plaatse. In het projectplan ontbreken de voorwaarden waaronder kan worden doorgetroemd naar een volgende fase. Daardoor wordt mogelijk besloten door te gaan naar fase 5 zonder dat afdoende is aangetoond dat dit veilig kan.	** / ***

4. Het SWOV-advies over de proef van Starship met de bezorgrobot

4.1. Veiligheidsadvies op basis van de risicomatrix

De potentiële risico's met minstens 2 x 2 sterren in de risicomatrix zijn aangemerkt als relevant risico en worden hieronder gegroepeerd met mogelijke maatregelen om de risico's te beperken. Daarbij moet vermeld worden dat het risico niet geheel weggenomen kan worden met deze maatregelen. Het experimenteren met innovatieve vervoerswijzen op de openbare weg zal altijd gepaard gaan met een bepaalde mate van risico.

4.1.1. *Veiligheidsrisico's bij oversteken*

We zien de oversteken die de robot moet maken als risicovolle situaties, waarbij er een verhoogd risico is op conflicten tussen de robot en de verkeersdeelnemers op de rijbaan. Deze conflicten kunnen leiden tot een ongeval. We schatten de directe gevolgen van een aanrijding tussen de Starship-robot en een bus of auto laag in. Een aanrijding tussen een tweewieler en de robot kan wel ernstige gevolgen hebben, omdat de berijder van de tweewieler niet beschermd is wanneer deze bij die botsing ten val komt.

Een conflict tussen de robot en verkeer op de rijbaan kan ook leiden tot secundaire ongevallen. Dit kunnen bijvoorbeeld aanrijdingen zijn tussen fietsers en motorvoertuigen doordat een van beide verkeersdeelnemers onverwacht uitwijkt voor de robot. Maar ook kan bij een aanrijding tussen een robot en een motorvoertuig de robot worden gelanceerd en daarbij een fietser raken. Het risico op dergelijke secundaire ongevallen is hoger als gescheiden fietspaden langs de gebiedsontsluitingswegen ontbreken – zoals in het proefgebied .

Ten opzichte van normale voetgangers verwachten we bij het oversteken van de robot een verhoogd risico op conflicten met verkeer op de rijbaan. Door de beperkte omvang en de geringe hoogte is de robot minder zichtbaar dan een voetganger. Ook achter geparkeerde auto's is de robot niet zichtbaar voor verkeersdeelnemers op de rijbaan. Het is nu niet te voorspellen hoe andere verkeersdeelnemers zullen reageren op de robot als ze deze eenmaal wel opmerken. We verwachten echter dat een deel van de verkeersdeelnemers de robot niet (direct) zal herkennen als verkeersdeelnemer. Zeker niet wanneer hij stilstaat; zoals bij een oversteekvoorziening. Op de robot is een vlag gemonteerd om de zichtbaarheid en de herkenbaarheid te verhogen. Deze vlag zal iets helpen, maar de zichtbaarheid en de herkenbaarheid blijven minder dan die van een voetganger. Verkeersdeelnemers zullen de robot daarom mogelijk waarnemen als 'een object op de rijbaan' dat daar niet thuishoort, zoals een onverwacht op de weg aanwezige bal of doos.

Vanwege de complexiteit bij kruispunten vraagt de robot aan een operator op afstand toestemming om over te mogen steken. Deze dient op basis van de videobeelden en sensorinformatie te beslissen of de oversteek plaats mag vinden. Voor de operator is dit echter een complexe taak. Op basis van enkel videobeelden is het lastig om een goede inschatting te maken van de

afstand en snelheid van naderende voertuigen. Ook met aanvullende sensorinformatie blijft het een lastige taak om deze informatie snel te verwerken en te interpreteren of het veilig is om de robot over te laten steken; zeker gelet op de snelheden op de gebiedsontsluitingswegen. Het kiezen van een veilig moment om de robot over te laten steken lijkt enkel mogelijk wanneer er geen verkeer nadert of als voertuigen de robot voorrang verlenen door volledig voor hem tot stilstand te komen. De taak van de operator wordt verder bemoeilijkt door beperkt zicht bij het rijden in het donker en met regen.

Adviezen met betrekking tot oversteken in een onveilige situatie

- Keur alleen oversteeklocaties goed waar het zicht niet wordt geblokkeerd door geparkeerde auto's of andere obstakels binnen 5 meter van de oversteek.⁷
- Zorg dat de robot voldoende zichtbaar is voor andere verkeersdeelnemers, zowel op de rijbaan als op het voetpad en bij verschillende omstandigheden (ook bij beperkt zicht zoals donker en mist).
- Keur alleen oversteeklocaties over gebiedsontsluitingswegen goed waar sprake is van een formele oversteekvoorziening, vormgegeven door een voetgangersoversteekplaats (zebra) en/of verkeerslichten. Oversteken bij verkeerslichten heeft sterk de voorkeur.
- Minimaliseer het aantal oversteken over gebiedsontsluitingswegen zonder gescheiden fietspaden.
- Geef pas toestemming voor de oversteek op het moment dat er geen verkeer aankomt of als verkeer gestopt is. Het is immers lastig voor de operator om de snelheid en de afstand van naderend verkeer goed in te schatten. Het is belangrijk dat de robot na toestemming van de operator ook zelf de rijbaan continu controleert op naderend verkeer. Het advies is dat de robot op grond van die informatie alleen zal oversteken wanneer de oversteek kan worden afgerond zonder dat naderend verkeer de snelheid moet minderen om een conflict te voorkomen.
- De operator kan – wanneer het druk is – ook toestemming verlenen aan de robot om samen met andere voetgangers over te steken. De robot steekt dan pas over wanneer hij ten eerste heeft waargenomen dat de andere voetgangers de oversteek hebben ingezet. Ten tweede dient de robot dan nog na te gaan of hij de oversteek kan afronden zonder dat naderend verkeer de snelheid moet minderen om een conflict te voorkomen. Oversteken met andere voetgangers is dus enkel mogelijk wanneer de robot in staat is om beide situaties te kunnen bepalen.

4.1.2. *Afleiding van overige verkeersdeelnemers*

Een zelfstandig rijdende robot is – als men hem eenmaal waarneemt – een opvallende verschijning. We zien het als een risico dat de aandacht van mensen te lang naar de robot uitgaat, waardoor ze worden afgeleid van de rijtaak en van aandacht voor andere verkeersdeelnemers. Het is bekend dat het risico op ongevallen toeneemt wanneer een bestuurder is afgeleid van zijn of haar rijtaak.⁸ Het risico van afleiding door de robot is dat dit leidt tot

⁷ In de wegenverkeerswet wordt aangegeven dat parkeren niet is toegestaan binnen 5 meter van een kruispunt. We bevelen aan dit als minimum eis door te trekken naar locaties waar de robot wordt toegestaan over te steken.

⁸ Dingus, T.A., Guo, F., Lee, S., Antin, J.F., et al. (2016). *Driver crash risk factors and prevalence evaluation using naturalistic driving data*. In: Proceedings of the National Academy of Sciences, vol. 113, nr. 10, p. 2636-2641.

enkelvoudige of meervoudige ongevallen. Dit risico is hoger naarmate een bestuurder langer is afgeleid en/of harder rijdt.^{9 10} Ook zijn de gevolgen van een eventueel ongeval groter bij hogere snelheden.¹¹ Het risico op een ongeval met slechte afloop is dan ook het hoogst op de gebiedsontsluitingswegen in Hoogvliet, waar de snelheidslimiet 50 km/uur is en waar fietsers en gemotoriseerd verkeer mengen – er zijn hier geen gescheiden fietspaden. Ook op het voetpad kan afleiding van voetgangers leiden tot conflicten met andere voetgangers of botsingen met een obstakel. De kans hierop is echter kleiner evenals de ernst van de afloop, omdat voetgangers makkelijker stil kunnen gaan staan, zich langzamer voortbewegen en dus ook meer tijd hebben om op het laatste moment een conflict te voorkomen.

Adviezen met betrekking tot afleiding van overige verkeersdeelnemers:

- Minimaliseer in de routekeuze van de robot de afstand die deze aflegt langs gebiedsontsluitingswegen zonder gescheiden fietspaden.
- Minimaliseer in de routekeuze van de robot het aantal kruisende bewegingen over een gebiedsontsluitingsweg zonder gescheiden fietspaden.

4.1.3. *Onoplettendheid of afleiding van de handler en/of operator op afstand*

De robot functioneert gedurende de fasen 2 tot en met 4 zo veel mogelijk zelfstandig. De handler heeft een controlerende functie, waardoor zijn taakbelasting laag is. Wel loopt de handler altijd mee met de robot en zal hij naar verwachting zijn taak goed kunnen uitvoeren zolang hij zijn aandacht bij de robot en andere verkeersdeelnemers houdt. Risico's ontstaan wanneer de handler neventaken gaat uitvoeren zoals bellen of de mobiele telefoon bedienen. Een ander risico ligt in het wachten op toestemming voor oversteken en het moment dat de robot zelf de oversteek start. Het kan voorkomen dat de robot lang moet wachten op toestemming. Wanneer de handler zijn aandacht voor de robot verliest, mist deze mogelijk het moment dat de robot weer in beweging komt.

Ook voor de operator op afstand geldt dat deze een lage taakbelasting heeft gedurende de proef. De operator komt alleen in actie bij het maken van een oversteek, wanneer er daarvoor bij hem toestemming wordt gevraagd. De operator is dan niet 'in the loop' tot het moment dat zijn aandacht wordt gevraagd.

Het risico bestaat dat zowel de operator als de handler onvoldoende aandacht heeft voor de situatie wanneer ingrijpen nodig is.

Om een nieuwe taak – in dit geval een ingreep door handler of operator – goed te kunnen uitvoeren, is het nodig dat men zich bewust wordt van de omgeving en de actuele situatie ('situation awareness'). De tijd die daarvoor nodig is, is mede afhankelijk van de cognitieve inspanning en de context van de taak die voorafgaat aan deze nieuwe taak. Bij een hogere cognitieve inspanning van de voorafgaande taak is de hersteltijd van de situation

⁹ Dingus, T. A., Guo, F., Lee, S., Antin, J. F., Perez, M., Buchanan-King, M., & Hankey, J. (2016). Driver crash risk factors and prevalence evaluation using naturalistic driving data. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. doi:10.1073/pnas.1513271113

¹⁰ Simons-Morton, B. G., Guo, F., Klauer, S. G., Ehsani, J. P., & Pradhan, A. K. (2014). Keep Your Eyes on the Road: Young Driver Crash Risk Increases According to Duration of Distraction. *Journal of Adolescent Health*, 54(5, Supplement), S61-S67. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.jadohealth.2013.11.021>

¹¹ Goldenbeld, C. & Aarts, L.T. (2013). Monitoring snelheid in het verkeer : handreiking voor een gestructureerd decentraal meetnet. H-2013-2. SWOV, Den Haag.

awareness langer dan bij een lagere cognitieve inspanning. En wanneer de twee taken vergelijkbaar zijn, is deze tijd korter dan wanneer de nieuwe taak compleet verschilt van de taak daarvoor.¹²

Voor de operator is de context vergelijkbaar wanneer hij moet schakelen tussen verschillende robots. Daarom wordt er geen lange hersteltijd van de situation awareness verwacht bij schakelen tussen robots, in vergelijking tot het wisselen met andere taken.

Voor een handler die is afgeleid door bijvoorbeeld het gebruik van de mobiele telefoon, zal de hersteltijd van de situation awareness naar verwachting wat langer zijn, doordat deze taak buiten de context ligt van de controletaak over de robot.

Adviezen met betrekking tot onoplettendheid of afleiding van de handler en/of operator op afstand

- De handler ter plaatse dient zich tijdens de rit te concentreren op zijn taken en mag tijdens de rit geen neventaken uitvoeren, zoals bellen, de telefoon bedienen of andere afleidende taken.
- Wanneer de handler ter plaatse noodzakelijke neventaken moet uitvoeren, dient de robot in een 'pauzestand' te worden gezet.
- De operator op afstand mag geen neventaken uitvoeren wanneer er robots op de weg zijn onder zijn/haar verantwoordelijkheid.
- Laat de robot ruim van te voren aangeven wanneer hij wil gaan oversteken zodat de operator op afstand alvast kan meekijken bij het naderen van een oversteek. Dit vergroot de 'situation awareness' van de operator. Tevens zorgt dit ervoor dat hij sneller kan beslissen en een betere beslissing kan nemen wanneer de robot bij de oversteek arriveert. Een optimale waarschuwingstijd zal proefondervindelijk moeten worden bepaald. Bij toezicht op verschillende robots kan de situatie zich voordoen dat de operator een of meer meldingen binnenkrijgt terwijl deze de aanvraag van een robot aan het verwerken is. Het is belangrijk dat deze meldingen niet te zeer afleiden van de lopende taak.

4.1.4. *Conflicten op het voetpad*

Door zijn beperkte hoogte en omvang valt de robot minder op dan de andere verkeersdeelnemers op het voetpad, zoals voetgangers en scootmobielrijders, met name wanneer het drukker is. Het risico daarbij is dat voetgangers de robot over het hoofd zien en tegen de robot opbotsen.

Naast voetgangers maken ook fietsers gebruik van het voetpad (ook al is dat bij wet niet toegestaan). Fietsers hebben een hogere snelheid, zijn minder wendbaar en gevoeliger voor verstoring van de balans. Fietsers zullen dus minder goed dan voetgangers in staat zijn om een botsing op het laatste moment te voorkomen.

Om een conflict te voorkomen heeft de robot alleen de mogelijkheid om te remmen. Bij een potentieel conflict met voetgangers is dit – gezien hun wendbaarheid en flexibiliteit – sneller voldoende dan bij fietsers.

Bij een potentieel conflict tussen de robot en fietsers spelen dus niet alleen de ongunstige kenmerken van de fietser (snelheid, beperkte wendbaarheid, disbalans) een rol, maar ook de beperkte mogelijkheden van de robot.

¹² Gartenberg, D., Breslow, L., McCurry, J. M., & Traflet, J. G. (2014). Situation Awareness Recovery. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 56(4), 710-727. doi:10.1177/0018720813506223

Het risico dat een robot zelf tegen een voetganger of fietser op botst lijkt beperkt. Het risico op conflicten op het voetpad zijn mogelijk hoger op het plein in het winkelcentrum, waar de bewegingspatronen van voetgangers en fietsers meer willekeurig lijken.

Botsingen met fietsers en voetgangers waarbij deze ten val komen, hebben een hoog risico op een ernstige afloop. Het is daarom belangrijk dat deze situaties zich niet voordoen.

Adviezen met betrekking tot conflicten op het voetpad

- Om botsingen met voetgangers en fietsers op het voetpad te voorkomen is het belangrijk dat de handler op korte afstand achter de robot meeloopt, zoals in het projectplan is aangegeven. Indien de proef goed verloopt en zich geen conflicten voordoen kan de handler ter plaatse geleidelijk meer afstand nemen van de robot (zoals aangegeven tijdens het locatiebezoek).
- Ook is het belangrijk dat de robot goed zichtbaar is tussen andere verkeersdeelnemers op het voetpad onder verschillende omstandigheden (ook bij beperkt zicht zoals donker en mist).

4.2. Aandachtspunten voor een gefaseerde uitrol

De aanvraag voor deze praktijkproef is ingediend zonder einddatum. De aanname is daarom gemaakt dat deze voor de looptijd van een jaar is. In fase 2 is gepland om bezorgingen uit te voeren voor virtuele klanten. Het advies is om in deze fase alleen bij daglicht buiten de spits en andere drukke periodes te gaan rijden. Deze fase kan worden gebruikt om ervaring op te doen met de robot in de proefomgeving in relatief gunstige omstandigheden.

Tijdens het locatiebezoek is aangegeven dat het voor de proef belangrijk is om na te gaan hoe de interactie tussen de robot en andere verkeersdeelnemers verloopt: hoe reageert het verkeer op de robot of op de handler ter plaatse? In het projectplan van Starship is aangegeven dat de handler zich altijd binnen 1 m van de robot bevindt. Op het locatiebezoek hebben de vertegenwoordigers van Domino's, RDW en de gemeente Rotterdam aangegeven het belangrijk te vinden dat de handler bij oversteekvoorzieningen afstand bewaart tot de robot, zodat de interactie van het verkeer op de rijbaan met de robot plaatsvindt en niet met de handler.

Op dit punt adviseren wij het volgende:

- Start gedurende een eerste periode met het bewaren van een korte afstand tot de robot, buiten de spits bij daglicht.
- Wanneer de proef goed verloopt en zich geen conflicten voordoen, kan de handler ter plaatse geleidelijk wat meer afstand nemen van de robot. De handler ter plaatse moet echter te allen tijde de verkeerssituatie kunnen overzien en tijdig kunnen ingrijpen. Dit vereist dat de handler goed zicht heeft op de robot en andere verkeersdeelnemers en dat hij volledige aandacht heeft voor deze taak.
- Wanneer fase 3 start en er ook tijdens spitsuren of in het donker bezorgd wordt, loopt de handler ter plaatse gedurende een eerste periode opnieuw mee binnen een afstand van 1 m, zoals in het projectplan is opgegeven.
- Wanneer de proef goed verloopt tijdens de spits en in het donker en zich geen conflicten voordoen, kan de handler ter plaatse geleidelijk meer afstand nemen van de robot. De handler ter plaatse moet echter te allen

tijde de verkeerssituatie kunnen overzien en tijdig kunnen ingrijpen. Dit vereist dat de handler goed zicht heeft op de robot en andere verkeersdeelnemers en dat hij volledige aandacht heeft voor deze taak.

- De afstand van de handler tot de robot mag nooit groter zijn dan het bereik van de afstandsbediening waarmee de handler een ingreep kan uitvoeren.
- Wanneer een incident plaatsvindt, dient de proef te worden stilgelegd. Pas na evaluatie van het incident en advies over een veilig vervolg van de proef kan deze opnieuw worden opgestart.

Het proefgebied, zoals beschreven in het SWOV-formulier, is in twee delen ingedeeld. Het startgebied en een uitbreidingsgebied, beide gelegen in de wijk Hoogvliet. In het uitbreidingsgebied zijn rotondes aanwezig. Rotondes vormen complexe situaties voor bestuurders op de rijbaan. De robot kan daar makkelijker over het hoofd worden gezien. Het advies is daarom dat de handler bij rotondes altijd samen met de robot oploopt, binnen 1 m afstand tot de robot.

Starship heeft het voornemen de robot in fase 5 zelfstandig te laten opereren zonder handler ter plaatse. Daarvoor is het belangrijk dat in deze proef aannemelijk wordt gemaakt dat dit echt in alle omstandigheden veilig kan. Een evaluatie van de proef is daarvoor van belang. Het advies is daarom om goed te monitoren welke conflicten zich voordoen en welke ingrepen worden verricht door een handler/operator of andere verkeersdeelnemer om een conflict te voorkomen. Dit betreft ook conflicten die niet resulteren in een botsing.

4.3. Conclusies

De belangrijkste adviezen samengevat:

1. Keur enkel oversteeklocaties goed waar zich geen visuele obstakels binnen 5 meter links en rechts van de oversteek bevinden.
2. Keur enkel oversteeklocaties over gebiedsontsluitingswegen goed die zijn voorzien van een zebrapad of van verkeerslichten.
3. Minimaliseer het aantal oversteken over gebiedsontsluitingswegen zonder gescheiden fietspad in de routekeuze van de robot.
4. Minimaliseer de afstand langs gebiedsontsluitingswegen zonder gescheiden fietspad in de routekeuze van de robot.
5. Laat de operator enkel toestemming verlenen voor oversteken wanneer er geen naderend verkeer is of wanneer de robot samen met andere voetgangers kan oversteken.
6. Laat de robot na toestemming voor oversteken door de controller op afstand, ook zelf controleren of er verkeer nadert. Indien verkeer nadert, sta de robot dan enkel toe over te steken wanneer de robot de oversteek kan voltooien zonder dat het naderend verkeer snelheid moet minderen om een conflict te voorkomen.
7. Zorg dat de robot voldoende zichtbaar is voor andere verkeersdeelnemers, zowel op de rijbaan als op het voetpad en bij verschillende omstandigheden (ook bij beperkt zicht zoals donker en mist).
8. De handler ter plaatse en operator op afstand dienen zich tijdens de rit te concentreren op hun taken en mogen daarbij geen neventaken uitvoeren, zoals bellen, de telefoon bedienen of andere afleidende taken.
9. Voer de bezorgingen in fase 2 alleen uit gedurende daglicht en buiten de spijstijden.
10. Laat de handler in de eerste periode op korte afstand meelopen op het voetpad en bij oversteken op korte afstand wachten, zoals in het projectplan is beschreven. Indien de proef goed verloopt en zich geen conflicten voordoen kan de handler ter plaatse geleidelijk meer afstand nemen van de robot (zoals aangegeven tijdens het locatiebezoek).
11. Laat bij een overgang naar fase 3, waarbij ook gereden zal worden in spijstijden en mogelijk ook bij schemer/donker, de handler ter plaatse een eerste periode op korte afstand meelopen en wachten bij oversteken met de robot zoals in het projectplan is beschreven. Indien de proef goed verloopt en zich geen conflicten voordoen kan de handler ter plaatse geleidelijk meer afstand nemen van de robot (zoals aangegeven tijdens het locatiebezoek).
12. Monitor en registreer alle conflicten, ook conflicten die niet leiden tot een botsing, zoals bijna-botsingen en situaties die een ingreep van de handler of een andere verkeersdeelnemer vereisen.

Advies aan RDW:


1. Wij adviseren de RDW om fase 2 van het experiment pas toe te staan als fase 1 zonder incidenten is afgerond.
2. Wij adviseren de RDW om een aparte ontheffingsaanvraag in te laten dienen voor fase 5 van het experiment – na een positief resultaat van de proef tot en met fase 4 – en niet op voorhand ontheffing te verlenen voor het gehele projectplan.

Advies aan de gemeente Rotterdam:

1. Sta oversteken van de robot over gebiedsontsluitingswegen enkel toe bij voetgangersoversteekplaatsen en bij verkeerslichten. Ook wanneer dit tot grotere omrijafstanden leidt dan in het SWOV-formulier is aangegeven of wanneer dit het bezorggebied verkleint.

Bijlage 1

SWOV-Formulier *Benodigde informatie voor de beoordeling van proeven met zelfrijdende voertuigen*

PROJECTINFORMATIE				
Naam project		Starship pizza robot deliveries		
PROEF				
Leg in één alinea uit wat het doel van de proef is		Domino's Pizza Enterprise Limited (DPE) and Starship Technologies have announced a partnership to start pizza deliveries to customers by a semi-automated robot. Purpose is to deliver warm and handmade pizzas to customers in the "golden circle" around a store, meaning 900meters circle.		
<ul style="list-style-type: none"> - Gaat het om een demonstratie of experiment? - Welk scenario wordt getest? 				
Welke stad, dorp, provincie?		Rotterdam Hoogvliet		
Over welk type wegen wordt gereden (snelweg, provinciale weg, enz.) incl. snelheidslimieten		Sidewalk (stoep)		
Waar vindt de proef plaats?		<p>The pilot will start in Rotterdam Hoogvliet; 1 of the 12 Domino's stores in Rotterdam, with a delivery area of max. 900 meters radius around the store (that way a pizza delivery will not take longer than 9 minutes to drive). The darker orange area is the area where most deliveries will be carried out because of the proximity to the store (<900 m. from the store), the lighter orange area is the entire area where we would like to be able to work with: For example, if the darker area does not contain enough locations to test certain facets, we can expand piloting to the entire orange area.</p> 		
Wat is de exacte route (straatnamen of evt. route kaart)				
Welk ander verkeer maakt gebruik van deze wegen (fietsers, voetgangers, auto's, vrachtverkeer)?		Pedestrians (voetgangers)		
Op welke dag of in welke periode vindt de proef plaats?		Van	ASAP (possibly November 2017)	Tot
				TBD, possibly infinite

VOERTUIG/BESTUURDER		
Algemene omschrijving van het voertuig: is het (vergelijkbaar met) een:	<input type="checkbox"/> Bus	
	<input type="checkbox"/> Vrachtauto	
	<input type="checkbox"/> Personenauto	
	<input type="checkbox"/> 'People mover'	
	<input checked="" type="checkbox"/> Anders, namelijk	Self driving robot
Met welke snelheid rijdt het voertuig?		6km/hour (limited to)
Welke aspecten van de rijtaak zijn geautomatiseerd (bijvoorbeeld: Sturen / Versnellen en remmen / Monitoren van de rijomgeving / Monitoren van het voertuig)?		All aspects can be automated: steering, speeding, monitoring. However, in first phase of the process, an operator can manually take control over the robot.
Ziet het voertuig er anders uit dan huidige voertuigen in het wegbeeld? Zo ja, waarin verschilt het?		Yes, there's no other delivery robot currently on the NL roads. 
Gedraagt het voertuig zich zoals een gemiddelde weggebruiker zich zou gedragen?	Volgt het voertuig de verkeersregels en – tekens? Zo nee, waarin wijkt het af?	Yes
	Houdt het voertuig zich aan informele verkeersregels? Zo nee, waarin wijkt het af? Bijvoorbeeld: Het voertuig rijdt (veel) langzamer dan de maximum snelheid of verleent vaker voorrang dan volgens verkeersregels.	Yes
Hoe gaat het voertuig om met overige weggebruikers (wel/niet inhalen, afstand bij inhalen/achterblijven)?		The robot drives on sidewalks at human speed (max 6kmph). It behaves as a regular pedestrian would, adjusting its speed on the sidewalk to avoid bumping into other pedestrians, stops in case of obstacles and goes around possible standing pedestrians or objects. It has very sophisticated obstacle detection to deal with these situations.
Welke informatie zal het voertuig gebruiken van de wegen, zoals strepen, borden, lichten, etc.?		The device typically operates in autonomous mode, but does so only in previously mapped areas. Whenever new operating areas are opened, the area is mapped on multiple levels: * localisation/positioning with much greater accuracy than GPS in urban tunnels based on landmarks * whitelisting of areas that it can drive in and what it expects in those areas In case a hole is dug into a sidewalk overnight or the road is blocked off, the robot will detect it, come to a safe stop and will pass over control to a remote robot operator to decide whether it needs to re-navigate around the block or whether the remote robot operator will guide it through / around less severe obstacles.

		<p>Road crossing decisions are currently done with humans giving the final confirmation to cross the road. Regulations state that the robot must cross the road safely and behave as a pedestrian would.</p> <p>On first mapping a new area or when doing temporary navigation in new areas, the robot is under human control at all times.</p>
Is er altijd een bestuurder / operator die toezicht houdt over het voertuig?		<p>The robot is in constant contact with the control center over two communication channels using two different modems. The robot gets navigation routes based on the latest mapping data, reports telemetry on its position and allows control to be passed over to remote control operators. The robot itself will avoid possible obstacles and follow autonomous routes. Even if telemetry connections or operator connections should get interrupted, the robot will continue being safe - in case of a road crossing it will finish the road crossing and in all other conditions it comes to a safe stop. The operations center is manned whenever robot operations are ongoing and humans are constantly overseeing robot journeys. During the initial stages of the trial, there will also be a local robot handler following the robot physically. The robot handler helps when pedestrians may have questions about the technology on the sidewalk.</p>
Welke taken heeft de bestuurder / operator? (bijvoorbeeld sturen, programmeren, dataverzameling, etc.)		<p>Tasks of the robot operator control: dealing with tasks passed over by the robot and actively remotely managing the robot navigation when it's in remote control. The operator also has the options of giving new tasks for the robot (such as interrupting a delivery and recalling the robot home, opening locks, changing operational modes, turning on sirens, giving speaking commands to the robot etc).</p> <p>The operator does not do mapping - that's a separate role. The operator also does not collect data (except in case of mapping), but the operator can designate certain markers for deeper investigation by the mapping or engineering teams.</p>
Hoeveel voertuigen worden tegelijk door één operator beheerd?		<p>Starship's goal is 99% autonomy, which implies one operator per hundred robots. Currently one single operator manages between 1-10 robots.</p>
Ingrijpen/Taken overnemen	Hoe wordt de bestuurder/operator geïnformeerd dat het systeem niet meer werkt en hij/zij moet ingrijpen/taken overnemen?	<p>The robot will come to a safe stop and call in an operator. The operations centre has banks of devices with operators on standby. Robot Operators will see the request from the robot and the operator station will additionally emit an audible signal.</p>
	Op welke manier kan de bestuurder/operator ingrijpen?	<p>The operator can take control of a robot that is assigned to him and take any safe action from stopping the robot, actively taking over remote control (with possibilities to turn the robot in place, guide it around by clicking on privacy-obfuscated camera feeds, using a joystick, turning on sirens or emitting pre-defined audible messages, they can open the lid lock etc.). The operators undergo training that covers remote operations.</p>
	Hoeveel tijd is er om in te grijpen/taken over te nemen?	<p>The robot is designed to be able to always have enough awareness to know its surroundings and its state. It will come to a safe stop in case of unusual obstacles or other concerns. While the robot is stopped in a safe area, it will not obstruct other sidewalk users nor traffic participants - some regulations cover that the robot must be cleared within 24 hours.</p>

Hoeveel ervaring heeft de bestuurder/operator?	Welke opleiding heeft de bestuurder/operator gehad om met het systeem om te gaan? Of hoe is de bestuurder geïnformeerd om met het systeem om te gaan?	Operators have a multi-stage training program that starts with screening and hiring for the right qualifications, then training based on materials, doing practice laps, walking with the robot, operating with senior operators in pairs and then taking over robot operations. The entire process lasts a couple of weeks depending on the progress of an individual candidate. Operations teams also have regular meetings where they adopt new learnings and educate operators.
	Ervaring met het systeem:	Robots have driven in the real world for over 100.000km. During those km's, Starship Technologies has developed operational and educational practices. There are learnings on areas that Starship Technologies would like to operate in and where they would prefer not to operate in, what they add to the training curriculum etc.. The Training is evolved over time, what areas they map for autonomous and operator control etc. One of the learnings is that other traffic participants may engage in illegal manoeuvres such as turning over multiple lanes in front of other cars and Starship now has systems that can also catch some of these and assist the operator in reacting quickly and aborting a road crossing in case quickly developing situations occur. For now and in the future, Starship focusses very much on mixed mode operations.
	Ervaring op de (Nederlandse) weg:	Starship is following a multi-step approach. When an operator is trained, they first get trained for operations. New operators for instance do not operate UK robots immediately due to the opposite side traffic - they grow into more complex tasks gradually. UK traffic is the most extreme example that Starship has in terms of differences by country. Usually the more important questions are rather based on neighbourhood, traffic density, types of other sidewalk actors and traffic participants.
Welke informatie krijgt een bestuurder/operator tijdens het rijden aangeboden (bijvoorbeeld over de werking van het systeem, routeinformatie,etc.)?		Operators see the video feeds from five cameras (with the top part obfuscated for privacy reasons), an obstacle map around the robot, augmented reality type information where routes are visualized onto video feeds, latency information, robot location, battery state, modem state, active faults about technical systems (in case any system has any) and some other contextual information (when a lid was opened for instance).
Op basis van welke informatie neemt de operator de beslissing dat het veilig is om over te steken (wat is bijvoorbeeld het bereik van de camera beelden)?		Cameras have 360 degree visibility around the robot with five cameras. The top parts of images are blurred for remote operators except on road crossings, but moving obstacles and risks are clearly visible, just identities are obfuscated. The robot itself has nine cameras (some cameras are only used by the robot or are viewable when switching to those cameras to get a closer angle or similar). Radars have 360 visibility. The operator also knows road layouts of the area. Additionally robots have eight ultrasonic sensors (three in front, two on either side and one in the back). The operator ensures they're allowed to cross (i.e. no red light), they check for cars using the cameras and use the obstacle map and then they cross. After the Operator committed to the road crossing, the robot will cross the road within the same traffic light cycle. Before all of the above, the operator also has the mapping layer that was previously mentioned. Starship selects which crossings the robot uses and ensures that robots will have a good visibility. Given two crossings that are near each other, the robot does have the time to go an extra 100m to use a crossing with a significantly better visibility. In case we have multiple options for a path, we also choose the route that's the safest - using equally good, but lower traffic density parallel roads when available for instance.

ANDERE WEGGEBRUIKERS

Andere weggebruikers/omwonenden	Worden andere weggebruikers en/of omwonenden geïnformeerd over de praktijkproef? Zo ja, hoe?	The stakeholders (residents, shop owners, local authorities) will be invited for a meeting in Rotterdam to update and inform them on the robot deliveries. Moreover, customers will be informed by door-to-door flyers and a local campaign to encourage people to buy pizza for robot deliveries.
	Is er nagedacht over de mogelijkheid dat andere weggebruikers het voertuig uittesten? (bijvoorbeeld: overige weggebruikers testen of het voertuig inderdaad automatisch remt) -- > zo ja, hoe wordt hier mee omgegaan?	<p>The robots are doing automated tests against previously seen situations. There are a vast number of tests in place against which Starship runs new obstacle avoidance systems. They add to these tests manually, but also automatically with several full time annotators working on their staff.</p> <p>The robots have a testing period - whenever there is a new software update, it is run with a handler with the testing team and when they declare the update to be good, it is deployed to other locations.</p> <p>People sometimes jump in front of the robot on purpose on the last minute to test its capabilities and the robot stops for them.</p> <p>In case a typical encounter happens on the streets, the robot uses a mix of matching speeds, going around obstacles, reducing speeds to lower the speed of the robot before an encounter and full braking in case an obstacle appears very close to the robot very suddenly. The robot has more patience than whoever will want to test it, but Starship will also pull in an operator, who can play back voice messages, or turn on sirens if necessary and we can dispatch operational people to assist if necessary.</p>

ORGANISATIE

Onverwachte gebeurtenissen	Is er een protocol over wat er gebeurt bij onverwachte gebeurtenissen (omvallen, lekke band, route is geblokkeerd, midden op de weg tot stilstand komen)?	<p>Yes. There are many scenarios:</p> <ul style="list-style-type: none"> * if a robot has a technical fault, then depending on the severity we stop the robot for significant issues (sensor faults, motor faults etc) and retrieve it * in case of a low impact fault like lid lock problem or one of the modems has issues, then we navigate home, but do not go out with it again until it goes through support servicing * in case of flat tyre, the robot has plenty of traction with remaining wheels to return home and get it pumped up - the robot is light and the tyres are significantly overdimensioned and hold their shape to a much greater extent than a bicycle or wheelchair or even car tyre does * in case the vehicle is turned upside down, then the drive route is aborted and control is handed over to an operator who can play a voice prompt or immediately dispatch operational help to the robot * in case there's an obstacle, we pass over to the operators and they decide the follow-up action based on context * in case the robot stops entirely, we hand over to operators and they will dispatch help * in case there's an obstacle or the route is blocked, we hand over to the operators and they decide the follow-up action based on context * in case our localisation accuracy drops compared to the width of a sidewalk or out of limits, then we hand over to operators for manual control
	Wie neemt de beslissing voor doorgang of afblazen bij onverwachte gebeurtenissen?	The operator does.

Testresultaten	Is het systeem eerder getest (op een testbaan of openbare weg)?	Yes, Starship robots have been used in London, Hamburg and Tallin.
	Zijn de resultaten beschikbaar? Zo ja, graag bijvoegen. Zo nee, graag een beknopte samenvatting van de resultaten.	A lot of data and experience is available, please let us know what is needed to send across.
	Is er een FMEA is uitgevoerd? Zo ja, dan ontvangen we hier graag de resultaten van.	There are tests and risk evaluations on multiple levels from mechanical to obstacle avoidance to autonomous driving etc. To avoid an entirely parallel intricate certification process in addition to the one we're working on with TÜV Süd, it would be practical to do a deep dive in person to cover technical topics.

Op basis van expertkennis en literatuur is een 'risicomatrix' opgesteld.¹³ Deze beschrijft hoe potentiële risico's die voor verschillende niveaus van automatisering voor verschillende gedragsaspecten te verwachten zijn en hoe ze kunnen worden – of al zijn – afgedekt. Zie het rapport *Veiligheid bij praktijkproeven met (deels) zelfrijdende voertuigen*¹⁴ voor een uitgebreide beschrijving van het samenstellen van de matrix.

De risicomatrix beschrijft de mogelijke risico's bij drie niveaus van automatisering (geïnspireerd op de 'SAE levels' van automatisering)¹⁵. Het belangrijkste verschil tussen de niveaus wordt gevormd door wat de bestuurder nog zelf moet doen (sturen, versnellen/remmen, monitoren, achtervang zijn en signaleren of actie nodig is):

1. Gedeeltelijke automatisering – Bestuurder in actie

Bij gedeeltelijke automatisering neemt het systeem tijdelijk ofwel het sturen ofwel versnellen/remmen over. De bestuurder voert alle overige dynamische taken wel zelf uit, zoals het monitoren van de rijomgeving en van het systeem. Bovendien treedt de bestuurder op als achtervang als het systeem daar om vraagt en kan hij het systeem 'overrulen'. Het systeem kan door de bestuurder geactiveerd en uitgezet worden. Om de geautomatiseerde delen van de rijtaak goed uit te kunnen voeren gebruikt het systeem informatie over de rijomgeving. Een voorbeeld van dit niveau van automatisering zijn systemen die de bestuurder ondersteunen bij het uitvoeren van een lastige of vermoeiende rijtaak, zoals de fileassistent bij het filerijden. De fileassistent houdt een gelijkmatige snelheid en een bepaalde afstand tot de voorligger.

2. Conditionele automatisering – bestuurder is belangrijk

Bij conditionele automatisering wordt de volledige rijtaak door het systeem uitgevoerd. De bestuurder monitort de rijomgeving, fungeert als achtervang als het systeem daar om vraagt, en is hiermee als het ware toezichthouder geworden. Op dit niveau is het voor de veiligheid cruciaal dat de bestuurder tijdig kan ingrijpen als het systeem of de verkeerssituatie hierom vraagt, de bestuurder fungeert als achtervang. Dit niveau van automatisering wordt bijvoorbeeld gebruikt bij vrachtwagens die gekoppeld in colonne op de weg rijden. Dit wordt ook wel 'platooning trucks' genoemd. In een gekoppelde colonne heeft de voorste vrachtwagen de leidende rol en een lager automatiseringsniveau.

¹³ Hierbij is gebruikgemaakt van de FMEA-methode (zoals beschreven in het ADVISORS-project: ADVISORS (2003). *Advanced Driver Assistance and Vehicle Control System Implementations, Standardisation, Optimum Use of the Road Network and Safety: Final report*. Commission of the European Communities, Brussels.)

¹⁴ Boele, M.J., et al. (2015). *Procedure en criteria voor de veiligheid van praktijkproeven op de openbare weg met (deels) zelfrijdende voertuigen. Achtergrond en aanpak van het SWOV-veiligheidsadvies*. R-2015-15A. Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV, Den Haag.

¹⁵ SAE (2014). *Summary of SAE International's levels of driving automation for on-road vehicle*. Geraadpleegd 8 april 2015 op www.sae.org: http://www.sae.org/misc/pdfs/automated_driving.pdf

3. Volledig automatisering – bestuurder is niet belangrijk

Bij volledige automatisering neemt het systeem alle rijtaken over en monitort het de rijomgeving en zichzelf. Op dit niveau hoeft het systeem niet meer terug te vallen op de bestuurder. De bestuurder heeft geen rol in dit voertuig en is daarmee passagier geworden. Voertuigen op dit niveau kunnen onbemand zijn en hebben soms geen stuur en geen pedalen. Eventueel kan een operator op afstand toezicht houden over het voertuig en zijn omgeving. Een voertuig op dit niveau van automatisering is technisch gezien vergelijkbaar met bijvoorbeeld een automatische 'people mover'. Deze voertuigen brengen passagiers van A naar B over een aan het voertuig toegewezen pad, zonder aanwezigheid van een bestuurder. Voor een SWOV-advies over een praktijkproef hanteren we dit niveau van volledige automatisering uiteraard voor voertuigen die op de openbare weg zullen rijden.

De risicomatrix toont de potentiële risico's die wij verwachten op elk van de drie niveaus van automatisering; deze vormen de horizontale dimensie van de matrix. De andere dimensie van de matrix wordt gevormd door de volgende vier categorieën risico's:

1. Risico's die kunnen spelen bij de interactie tussen de bestuurder (of operator) en het geautomatiseerde systeem in het voertuig;
2. Risico's die kunnen spelen de interactie tussen het voertuig (en zijn bestuurder) en andere weggebruikers;
3. Risico's die samenhangen met de locatie en het moment van de praktijkproef. Hierbij zijn de route en de plaats op de weg belangrijke uitgangspunten;
4. Algemene risico's die samenhangen met de projectinrichting en management.

De risicomatrix dient als leidraad bij het beoordelen van de testaanvraag voor de praktijkproef.

		Gedeeltelijke automatisering	Conditionele automatisering	Volledige automatisering
1. Interactie met systeem/voertuig				
Opleiding ¹⁶		Is de bestuurder opgeleid / geïnformeerd om met het systeem om te gaan in de gegeven situatie?		Is de operator opgeleid om beslissingen te kunnen nemen?
Nieuwe / andere vaardigheden		Moet de bestuurder nieuwe of andere verrichtingen uitvoeren (bijvoorbeeld inhalen met gekoppelde vrachtwagen, extreem lang voertuig)?		Heeft de operator genoeg informatie om de juiste beslissing te nemen?
Transition of control	Mentale taakbelasting ¹⁷	Is de taak mentaal belastend of juist (te) weinig belastend?		
	Situation Awareness ^{18,19}	Blijft de bestuurder 'in the loop' (bewust van de verkeerssituatie)? Wordt de bestuurder tijdig geïnformeerd door het voertuig, zodat hij de rijtaken over kan nemen?		Wordt de operator tijdig geïnformeerd, zodat hij op tijd kan beslissen? (op afstand) overnemen?
Falen systeem ²⁰		Wordt duidelijk aangegeven dat het systeem niet (meer) werkt?	Wordt duidelijk aangegeven dat het systeem niet (meer) werkt? Is er dan genoeg tijd om over te nemen?	Wat gebeurt als het voertuig onverwachts stopt (wordt aangegeven dat er iets aan de hand is)?
Oneigenlijk gebruik van het systeem ²¹		Hoe wordt oneigenlijk gebruik (bijvoorbeeld in-/uitschakelen op onbedoeld moment) tegengegaan?		Hoe wordt misbruik (bijvoorbeeld inschakelen op onbedoeld moment) tegengegaan?
Onverwachte gebeurtenis		Is er een protocol voor onverwachte gebeurtenissen (overstekende dieren/ voetganger / object, file op het traject, lekke band)?		

¹⁶ Larsson, A.F.L., Kircher, K. & Andersson Hultgren, J. (2014). *Learning from experience: Familiarity with ACC and responding to a cut-in situation in automated driving*. In: Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, vol. 27, Part B, nr. 0, p. 229-237.

¹⁷ Waard, D. de (1996). *The measurement of drivers' mental workload*. Proefschrift Rijksuniversiteit Groningen RUG, Groningen.

¹⁸ Endsley, M.R. (1995). *Toward a theory of situation awareness in dynamic systems*. In: Human Factors, vol. 37, nr. 1, p. 32-64.

¹⁹ Endsley, M.R. & Kaber, D.B. (1999). *Level of automation effects on performance, situation awareness and workload in a dynamic control task*. In: Ergonomics, vol. 42, nr. 3, p. 462-492.

²⁰ Strand, N., Nilsson, J., Karlsson, I.C.M. & Nilsson, L. (2014). *Semi-automated versus highly automated driving in critical situations caused by automation failures*. In: Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, vol. 27, Part B, nr. 0, p. 218-228.

²¹ Marinik, A., Bishop, R., Fitchett, V., Morgan, J.F., et al. (2014). *Human factors evaluation of level 2 and level 3 automated driving concepts: Concepts of operation*. National Highway Traffic Safety Administration, Washington, DC.

	Gedeeltelijke automatisering	Conditionele automatisering	Volledige automatisering
2. Interactie met andere weggebruikers			
Informatie ²²		Zijn andere weggebruikers geïnformeerd over de praktijkproef?	
Afleiding	Zijn de kenmerken van de voertuigen zo opvallend dat overige wegverkeer hierdoor kan worden afgeleid?		
Voorspelbaarheid ²³		Reageert het voertuig conform verwachtingen van andere weggebruikers?	
(Anticiperen op) onverwacht gedrag andere weggebruikers ²⁴			Kan het voertuig anticiperen op onverwachte gedrag van andere weggebruikers?
Verkeersregels ^{15,16}		Volgt het voertuig de verkeersregels en – tekens?	
Oneigenlijk gebruik		Is er voldoende rekening gehouden met de mogelijkheid dat andere weggebruikers het voertuig uittesten? (bijvoorbeeld: overige weggebruikers testen of het voertuig inderdaad automatisch remt)	
Kopieergedrag ^{25,26}	Wat is de kans dat andere weggebruikers op onwenselijke wijze gedrag van automatische voertuigen overnemen (bijvoorbeeld te korte volgfstand (<5m) in navolging van platooning trucks)		
3. Locatie en tijden praktijkproef			
Plaats op de weg: massa, snelheid en omvang ²⁷	Is de voorgestelde plaats op de weg de meest veilige als het voertuig mengt met ander verkeer?		
Route: snelheid en obstakelbeveiliging ¹⁹	Is de snelheid van het voertuig conform de omstandigheden? (bv niet te langzaam of te snel voor de omstandigheden) Zijn wegmeubilair en andere obstakels voldoende afgeschermd?		
Externe omstandigheden: weer en verkeer	Is er voldoende rekening gehouden met de verwachte weersomstandigheden en verkeersdrukte?		
4. Algemeen			
Projectinrichting & management	Is er een protocol voor incidenten?		

²² Hoekstra, T. & Wegman, F. (2011). *Improving the effectiveness of road safety campaigns: Current and new practices*. In: IATSS Research, vol. 34, nr. 2, p. 80-86.

²³ Houtenbos, M. (2008). *Expecting the unexpected: a study of interactive driving behaviour at intersections*. SWOV dissertation series. SWOV Institute for Road Safety Research, Leidschendam.

²⁴ Sivak, M. & Schoettle, B. (2015). *Road safety with self-driving vehicles : general limitations and road sharing with conventional vehicles*. UMTRI-2015-2. University of Michigan Transportation Research Institute, Ann Arbor.

²⁵ Gouy, M., Wiedemann, K., Stevens, A., Brunett, G., et al. (2014). *Driving next to automated vehicle platoons: How do short time headways influence non-platoon drivers' longitudinal control?* In: Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, vol. 27, Part B, nr. 0, p. 264-273.

²⁶ Skottke, E.M., Debus, G., Wang, L. & Huestegge, L. (2014). *Carryover effects of highly automated convoy driving on subsequent manual driving performance*. In: Human Factors, vol. 56, nr. 7, p. 1272-1283.

²⁷ Wegman, F. & Aarts, L. (2005). *Door met Duurzaam Veilig; Nationale verkeersveiligheidsverkenning voor de jaren 2005-2020*. Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV, Leidschendam.

Starship 6E robot specifications

Land-based local delivery robot. Suitable for commercial services in moderate complexity environments.

Operates autonomously in most situations and is managed by an operator over the internet in difficult situations.

General

Product code: **6E**

External dimensions: **697(L) x 569(W) x 1187(H) mm** (height 571 mm without flagpole)

Unloaded weight (with flagpole and battery): **25 kg**

Battery life: **2 hours (7 km of driving)**

Maximum speed: **6 km/h**

Average effective service speed: **4 km/h**

Cargo space dimensions: **400 x 320 x 340 mm¹**

Maximum cargo weight: **10 kg**

Autonomous driving: **70-90% of time**

Weather capability

Ability to operate in snow: **Yes**, in up to 5cm snow thickness

Ability to operate in rain: **Yes**

Ability to operate in darkness: **Limited**

Operating temperature: **-15 °C to +40 °C**

Technical

9 cameras (3 front, 4 sides, 2 rear)

4 radars, 360deg coverage

8 ultrasonic obstacle detectors, 360deg coverage

2 Inertial Measurement Units

1 GPS

6 driven wheels

Motors: brushless electric motors

Battery: **8000 mAh** Lithium Polymer **18.5 V**

Operating environment

Area description: Sidewalks in flat suburban area (individual/terraced housing)

Typical pedestrian density: 3 pedestrians/minute on sidewalks

Maximum sustained inclines/hills (with payload): **20 deg**

Maximum sustained decline (with payload): **30 deg**

Ability to climb curbs: **Yes 15 cm**

Ability to operate on rough terrain: **Yes**

Road crossings: **Yes**

Two-lane direct crossings: **Yes**

Up to four-lane crossings with safety island: **Yes**

Crossing with or without traffic lights: **Yes**

¹ See Figure 1 for details.

Sidewalks

Ideal sidewalk width: **2 m**

Average sidewalk width: **1.5 m**

Minimum sidewalk width: **60 cm** (up to 10% of route)

For each specific area, Starship Technologies will evaluate its suitability for robot operations and performs mapping of the area. 4 hours of mapping time is required to map 1 km of streets (up to 2 km of sidewalks).

Reliability

Mean time between servicing/faults: **150 hours**

Servicing partners: Authorised service partners available

Redundant mobile data connection (two mobile operators): **Yes**

Safety

Automatically stops for pedestrians and obstacles: **Yes**

Safely completes road crossings on lost connectivity: **Yes**

Safety certification: **No**

Kinetic energy: **less than 50 J** (3000 times less than a car, 15 times less than a bicycle)

Robot shell design: plastics, smooth surfaces and edges

For the first 2 weeks of operations, a person (handler) walking with the robot is required at all times to guarantee safe operation.

Security

Lid locking: Remote-operated electronic lock

Alarm system with sensors: **Yes**

Two-way audio: **No**

Real-time GPS tracking: **Yes**

For the first 2 weeks of operations, a person (handler) walking with the robot is required at all times to guarantee security of the robot.

Software

Secure access to Starship robot fleet management cloud services

Admin web/tablet app functionality

Ability to initiate delivery: **Yes**

Ability to open the lid: **Yes, remote control**

Ability to track robots: **Yes**

Service area overview: **Yes**

Delivery destination by street address: **Yes**

Delivery recipient mobile app functionality

Parcel availability notification: **Yes**

Pending delivery information: **Yes**

Delivery tracking: **Yes, interactive map**

Secure lid opening: **Yes**

Dimensions

Default dimensions: 400 x 320 x 340 mm

Extended dimensions to make use of package aspect ratio:

- 420 x 305 x 345 mm (maximal length)
- 355 x 360 x 345 mm (maximal width)
- 400 x 340 x 345 mm (using max bottom radii)

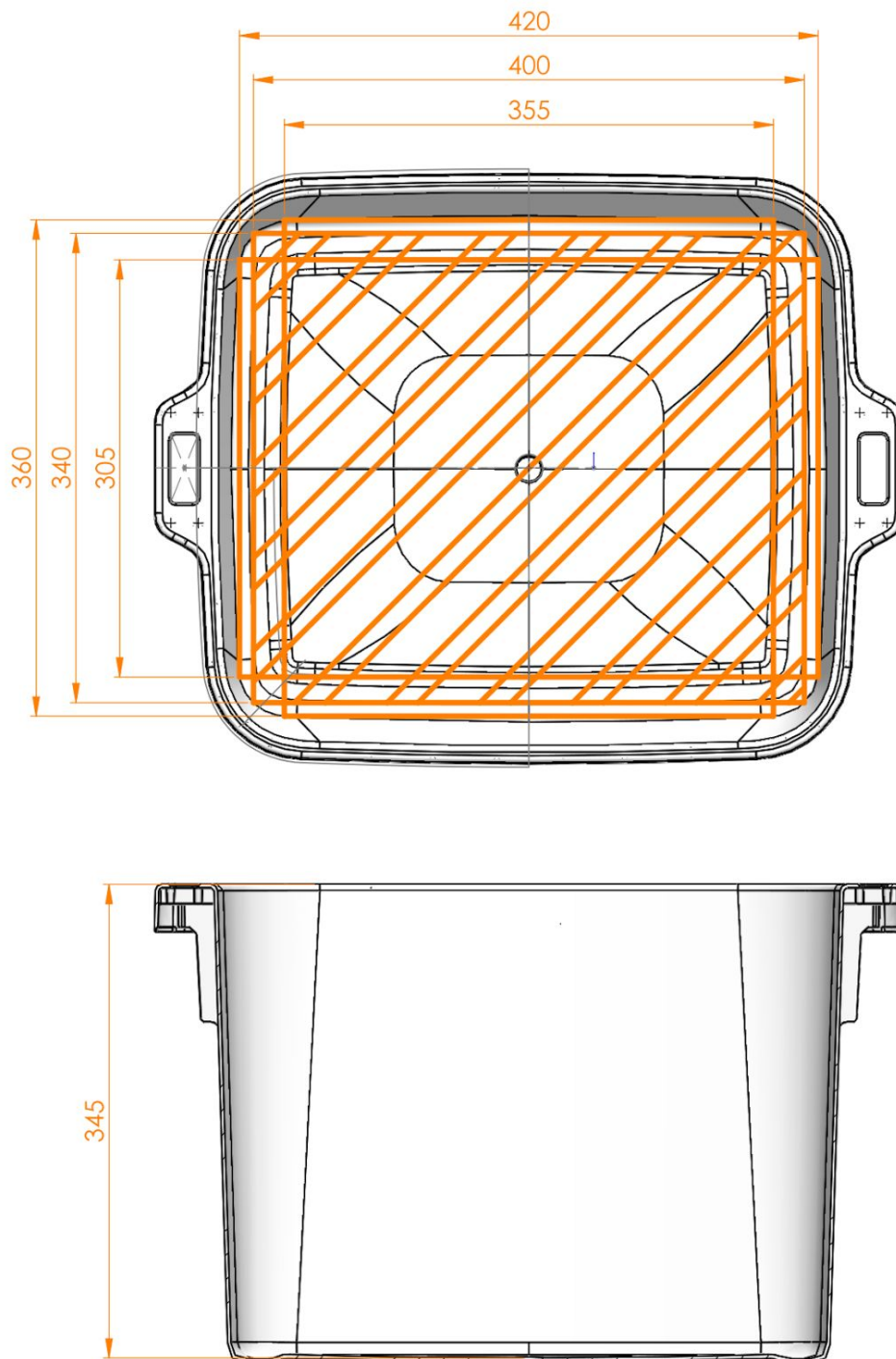


Figure 1. cargo space dimensions

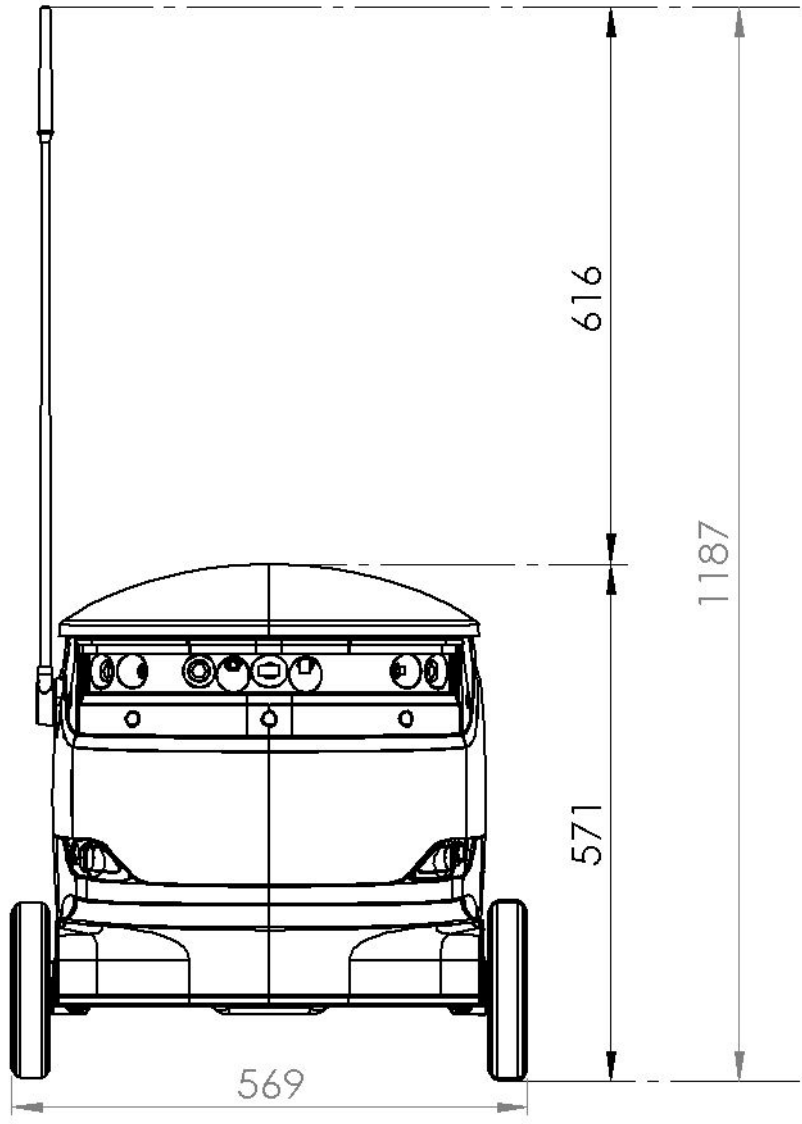


Figure 2. robot dimensions front

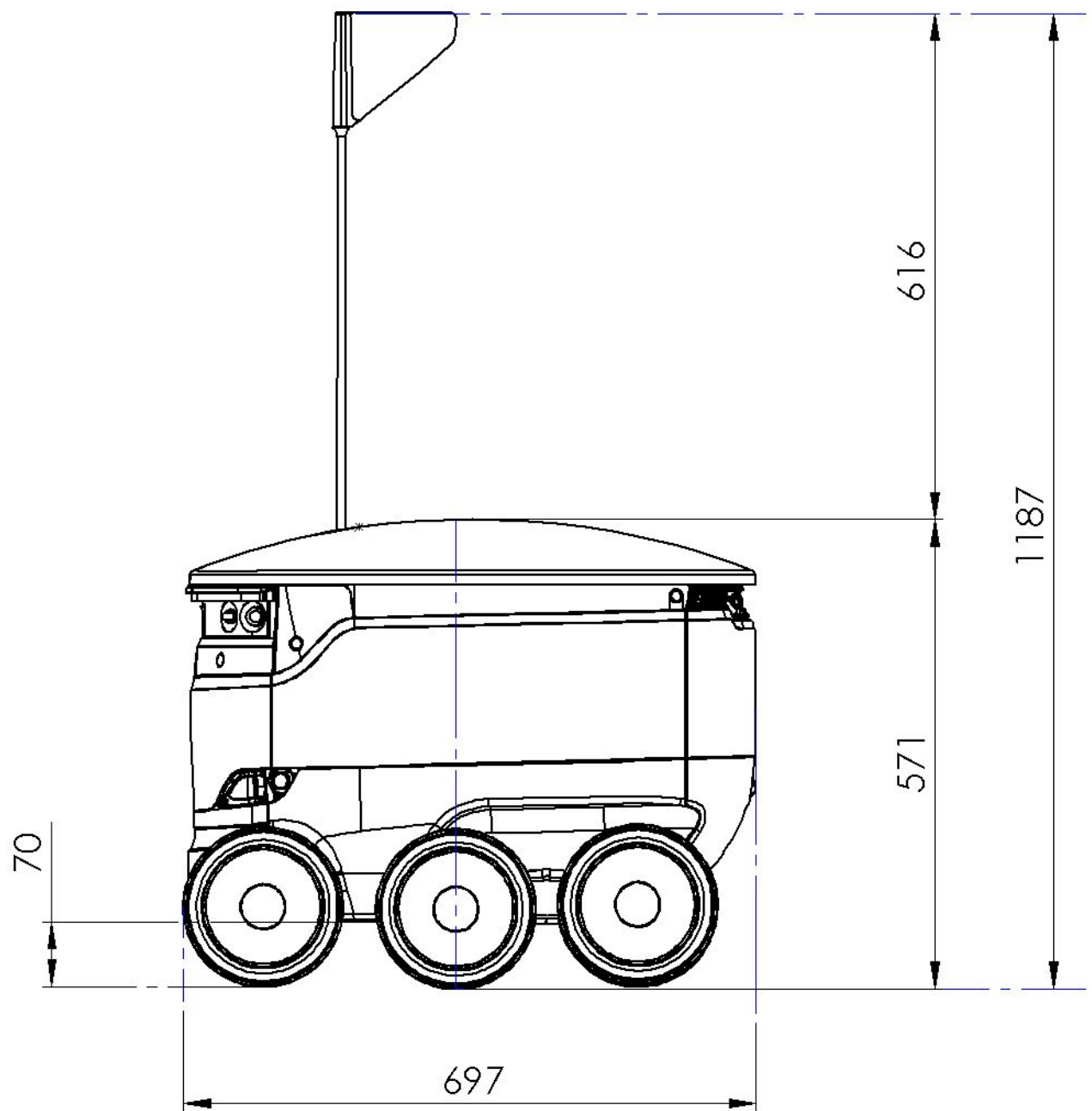


Figure 3. robot dimensions side

Deployment requirements

Charging

Charging method: Charging by operational staff

Charging station input voltage: **100-240V 5A**

Internet connectivity at base

Ethernet connection with minimum speed of 50/50 Mbit/s

Used for telemetry, operational configuration and software updates

Storage room for robot

700(L) x 600(W) x 1200(H) mm per robot

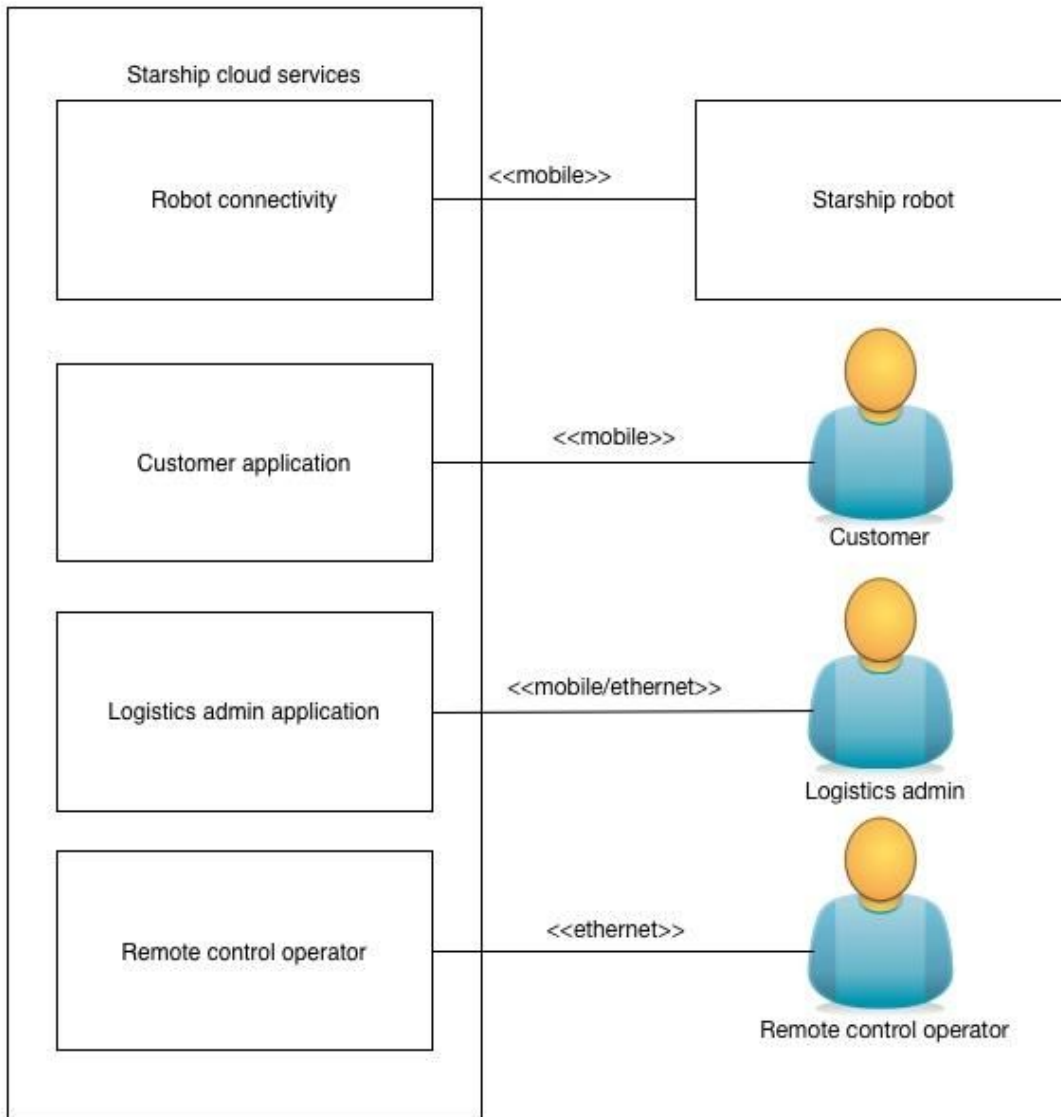


Figure 4. robot networking overview