

Risico-inventarisatie Lichte Elektrische Voertuigen zonder stuur

TNO 2023 R10738 – 18 april 2023

Risico-inventarisatie Lichte Elektrische Voertuigen zonder stuur

Auteurs	Esra van Dam, Yuri Tielman, Eleni Charoniti, Maiara Biscaro Uliana, Gerdien Klunder, Marika Hoedemaeker
Rubricering rapport	TNO Publiek
Aantal pagina's	46 (excl. voor- en achterblad)
Projectnummer	060.54678

Alle rechten voorbehouden

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van TNO.

© 2023 TNO

Samenvatting

Het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (I&W) werkt aan een kader voor de toelating van Lichte Elektrische Voertuigen (LEV's) op de Nederlandse wegen. Elektrisch aangedreven balansvoertuigen zonder stuur (o.a. MonoWheels, onewheels, elektrische skateboards) vallen momenteel (outline in Kamerbrief 13 juli 2021) niet binnen dit kader. Het Ministerie van I&W heeft aan TNO gevraagd de volgende onderzoeksvragen te beantwoorden met betrekking tot deze LEV's zonder stuur:

- Wat is de impact op verkeersveiligheid van deze balansvoertuigen?
 - Welke functionele en operationele veiligheidsaspecten zijn relevant om de impact van een eventuele toelating tot het verkeer op de weg op de verkeersveiligheid te bepalen?
 - Welke impact heeft een eventuele toelating op de (verkeers)veiligheid? Hierbij rekening houdend met gemiddelde bestuurders en overige verkeersdeelnemers.
- Wat zijn mogelijke risico mitigerende maatregelen?
 - Welke mitigerende maatregelen zijn denkbaar om de eventuele tekortkomingen op de veiligheid te verzachten?
 - Welke restrisico's resteren na het treffen van die mitigerende maatregelen (en kunnen dus niet verholpen worden door denkbare maatregelen)?

Dit rapport beschrijft de antwoorden op deze vragen na een kwalitatieve analyse die TNO heeft uitgevoerd voor deze voertuigen. Voor deze analyse is een combinatie van literatuurstudie en interviews/vragenlijsten met externe partijen (Nederland en Europese Unie) gebruikt.

Samenvattend zijn de belangrijkste functionele en operationele veiligheidsaspecten onderverdeeld in drie categorieën:

- Voertuig: zoals aandrijving, remcapaciteit, stabiliteit en zichtbaarheid;
- Gebruiker: zoals vaardigheid, zichtbaarheid en beschermende uitrusting;
- Omgeving: zoals de infrastructuur en interactie met andere verkeersdeelnemers.

Enkele belangrijke risico mitigerende maatregelen zijn:

- Voertuig: Stel een maximum snelheid, minimale remvertraging en maximale versnelling (of jerk), zorg voor twee onafhankelijke remsystemen en een minimale wieldiameter.
- Gebruiker: Stel een minimum gebruikersleeftijd in en pas de alcohol limiet toe zoals nu al geldt voor gemotoriseerde voertuigen (auto, bromfiets, motorfiets, vrachtwagen, etc.). Stimuleer het gebruik van beschermende uitrusting (helm, pols- en kniebescherming) en het volgen van training voor vaardigheden en veilig gebruik.
- Omgeving: Laat deze voertuigen vallen onder de verkeersregels voor fietsers en laat de berijders gebruik maken van het fietspad.

Een aanzienlijk deel van de technische veiligheidseisen wordt gedekt door bestaande International Organization for Standardization (ISO) en Europese normalisatie-organisatie (EN) normen, zoals de EN 17128.

Risico's die resteren na het nemen van verschillende maatregelen zijn:

- Stabiliteit, behendigheid met en bestuurbaarheid van deze voertuigen blijft sterk afhankelijk de vaardigheden van de gebruiker.
- De zichtbaarheid en herkenbaarheid voor andere verkeersdeelnemers is mogelijk een groter risico voor deze voertuigen ten opzichte van de LEV categorieën 1a en 1b.
- Hoe de interactie tussen deze voertuiggroep en andere verkeersdeelnemers gaat zijn is onbekend.

Belangrijk om te vermelden is dat er, mede door de tot nu toe kleine markt voor deze voertuigen, zeer beperkt (ongevals)data en onderzoek met betrekking tot de veiligheid van deze voertuigen beschikbaar is. Het trekken van harde conclusies over de significantie van risico's en welke maatregelen nodig en effectief zijn is daardoor niet mogelijk.

Inhoudsopgave

Samenvatting	3
Inhoudsopgave	5
1 Inleiding	6
1.1 Achtergrond / Aanleiding	6
1.2 Doel en aanpak	7
1.2.1 Doel	7
1.2.2 Aanpak	7
1.3 Leeswijzer	9
2 Categorisering van de voertuigen	10
2.1 Categorisering LEV-kader	10
2.2 Categorisering op basis van EN17128	10
2.3 Verfijning van de categorisering	11
3 Relevante (functionele) veiligheidsaspecten, risico's en mitigerende maatregelen	12
3.1 Relevante (functionele) veiligheidsaspecten van de voertuigen	12
3.1.1 Aandrijving	12
3.1.2 Remcapaciteit	14
3.1.3 Bediening van het voertuig	16
3.1.4 Zichtbaarheid	17
3.1.5 Hoorbaarheid	18
3.1.6 Stabiliteit	18
3.1.7 Andere relevante veiligheidsaspecten van het voertuig	20
3.2 Relevante veiligheidsaspecten met betrekking tot de gebruiker	23
3.2.1 Gebruiker	23
3.2.2 Beschermende uitrusting	25
3.2.3 Zichtbaarheid	25
3.3 Relevante veiligheidsaspecten met betrekking tot de omgeving	26
3.3.1 Infrastructuur	26
3.3.2 Andere weggebruikers	27
3.3.3 Weersomstandigheden	29
3.4 Overige relevante veiligheidsaspecten	30
3.5 Inzichten uit de vragenlijst en interviews	32
4 Restrisico's	35
4.1 Restrisico's met betrekking tot de voertuigen	35
4.2 Restrisico's met betrekking tot de gebruiker	35
4.3 Restrisico's met betrekking tot de omgeving	36
4.4 Andere restrisico's	36
5 Discussie en conclusies	37
5.1 Discussie	37
5.2 Conclusies	37
5.2.1 Conclusies met betrekking tot (rest)risico's van de voertuigcategorie	37
5.2.2 Conclusies met betrekking tot de toelating	39
6 Referenties	41

7 Bijlage A - De vragenlijst43

1 Inleiding

1.1 Achtergrond / Aanleiding

Het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (I&W) werkt aan een kader voor de toelating van Lichte Elektrische Voertuigen (LEV's) op de Nederlandse wegen [1]. Elektrisch aangedreven balansvoertuigen zonder stuur (MonoWheels, OneWheels, elektrische skateboards) vallen niet binnen dit kader. In de kamerbrief van 13 juli 2021 [1] is aan de Tweede Kamer toegezegd dat er zal worden verkend of en hoe deze groep voertuigen veilig zijn toe te laten, wanneer er specifieke eisen worden gesteld aan de techniek en gebruiker. Daarnaast is aan de Tweede Kamer toegezegd dat wordt verkend of de inpassing van deze voertuigen in het huidige verkeer mogelijk is, ervan uitgaande dat deze voertuigen een plek krijgen op het fietspad.

Als onderdeel van deze verkenning heeft het Ministerie van I&W aan TNO gevraagd de volgende onderzoeksvragen te beantwoorden:

- Wat is de impact op verkeersveiligheid van deze balansvoertuigen?
 - Welke functionele en operationele veiligheidsaspecten zijn relevant om de impact van een eventuele toelating tot het verkeer op de weg op de verkeersveiligheid te bepalen?
 - Welke impact heeft een eventuele toelating op de (verkeers)veiligheid? Hierbij rekening houdend met gemiddelde bestuurders en overige verkeersdeelnemers.
- Wat zijn mogelijke risico mitigerende maatregelen?
 - Welke mitigerende maatregelen zijn denkbaar om de eventuele tekortkomingen op de veiligheid te onderbouwen?
 - Welke restrisico's resteren na het treffen van die mitigerende maatregelen (en kunnen dus niet verholpen worden door denkbare maatregelen)?

Een elektrisch aangedreven balansvoertuig zonder stuur valt te omschrijven als een elektrisch aangedreven voertuig met de volgende generieke eigenschappen:

- De berijder staat op het voertuig; er is geen zadel of andere voorziening om op te zitten.
- De berijder heeft geen stuur, handvat of ander hulpmiddel om zijn balans te bewaren.
- Het voertuig is bedoeld om slechts één persoon inclusief zijn redelijkerwijs te verwachten persoonlijke bagage te verplaatsen.

Binnen deze omschrijving zijn verschillende uitvoeringsvormen denkbaar, die weer uiteen vallen in twee categorieën:

- De zelf-balancerende voertuigen: dit zijn voertuigen die op zichzelf instabiel zouden zijn, bijvoorbeeld omdat ze enkelsporig zijn en/of slechts één as hebben. Deze voertuigen worden mede door hun techniek gestabiliseerd, mits er een berijder op staat die zichzelf op de juiste manier positioneert op het voertuig. Typische verschijningsvormen zijn de Electric Unicycle (EUC), de Onewheel en het Hoverboard.
- De voertuigen die op zichzelf wel stabiel zijn, maar waarbij de berijder zelf zijn balans dient te bewaren (niet zelf-balancerende voertuigen): de typische verschijningsvorm daarvan is het elektrische skateboard.

<i>EUC (MonoWheel)</i>	<i>Onewheel</i>	<i>Elektrisch skateboard</i>	<i>Hoverboard</i>
			
Zelfbalancerend eenwielig enkelsporig voertuig	Zelfbalancerend eenwielig enkelsporig voertuig	Twee-assig, tweesporig elektrisch voertuig, gebaseerd op een skateboard	Zelfbalancerend, eénassig, tweesporig elektrisch voertuig

Figuur 1 De LEV's zonder stuur gebruikt in deze studie

Het is belangrijk om te beseffen dat deze specifieke voertuigen slechts als voorbeeld dienen. Binnen de generieke omschrijving zijn nog veel meer varianten te verzinnen. Een korte zoektocht op het internet leert dat er op dit vlak veel innovatie plaatsvindt, waardoor het niet gemakkelijker wordt om op voorhand alle denkbare voertuigen goed te beschrijven. Om deze reden wordt in dit rapport gepoogd om enkel generieke eigenschappen te benoemen, en daarvoor ter illustratie de bovengenoemde voertuigen (zie figuur 1) te gebruiken.

1.2 Doel en aanpak

1.2.1 Doel

Het doel van deze studie is om de twee in de introductie genoemde vragen (en de deelvragen) te beantwoorden en onderbouwen, zodat het Ministerie van I&W deze informatie kan gebruiken in hun reactie naar de Tweede Kamer. Het gaat hierbij om een kwalitatief antwoord (kwantitatieve onderbouwing vraagt om grootschaliger onderzoek / gebruikerstesten / etc.).

1.2.2 Aanpak

Om de vragen te beantwoorden heeft TNO een kwalitatieve analyse uitgevoerd van de mogelijke veiligheidsimpact van elektrisch aangedreven balansvoertuigen zonder stuur. Hierbij worden relevante aspecten van de voertuiggroep besproken, maar niet de specifieke eigenschappen van individuele merken.

Om informatie uit diverse bronnen voor deze studie te verkrijgen, werden zowel een literatuurstudie alsook meerdere interviews met externe partijen uitgevoerd.

In voorgaande studies en projecten in opdracht van het Ministerie van I&W is reeds een relevante set aan literatuur verzameld, samengevat in [2]. Deze is besproken tijdens een expertsessie georganiseerd door het Ministerie van I&W [3], welke als basis is gebruikt voor de huidige impact analyse. Deze literatuur set is uitgebreid met input verkregen tijdens interviews

met relevante externe partijen (zie paragraaf 3.5). Uit deze literatuur, en gebaseerd op de achtergrondkennis van de experts in deze studie, zijn vervolgens relevante (functionele) veiligheidsaspecten en risico-mitigerende maatregelen geëxtraheerd. Waar mogelijk zijn verschillende bronnen naast elkaar gelegd om te zien of er aspecten zijn waar consensus over is, aspecten waar verschillende meningen over bestaan of andere grenswaarden worden gekozen, of juist aspecten die slechts bij specifieke bronnen worden benoemd. Waar mogelijk zijn aanvullingen gedaan op basis van input vanuit de vragenlijsten en interviews.

Als onderdeel van het project is contact gezocht met externe partijen uit binnen- en buitenland om zoveel mogelijk informatie te verkrijgen vanuit andere landen die dit soort voertuigen al in hun regelgeving hebben opgenomen.

Er is een korte vragenlijst opgesteld en verspreid onder contacten uit diverse Europese steden/landen, om inzicht te geven in:

- Het vóórkomen en gebruik van het type LEV's van dit onderzoek (Elektrisch aangedreven balansvoertuigen zonder stuur) in het betreffende land;
- De geldende toelatings- en gebruiksregels voor de verschillende type LEV's in het betreffende land;
- Geldende gebruiksregels voor deze voertuigen die verband houden met de veiligheid, bijvoorbeeld helmvereiste, snelheidslimiet, etc.
- Beschikbare informatie over verkeersongevallen waarbij dit soort voertuigen betrokken waren.

In de vragenlijst is ook geïnformeerd naar de functie van de geënquêteerde in het werkveld, waarbij de deelnemers na instemming zijn uitgenodigd voor een vervolggesprek om bepaalde aspecten nader te bespreken, en succesfactoren, geleerde lessen en mitigerende maatregelen te identificeren. Een compleet overzicht van de vragen is opgenomen in Bijlage A en een samenvatting van de reacties op de vragenlijst en de interviews is opgenomen in paragraaf 3.5.

Voor het benaderen van geschikte respondenten voor de vragenlijst is gebruik gemaakt van externe contacten via TNO's netwerk (o.a. via POLIS en Eurocities). Relevante landen zijn genoemd in verslagen van eerdere TNO-projecten [4] en ook in de literatuur [2][5]. De contacten werden benaderd via een persoonlijke e-mail met een link naar de vragenlijst. Toen dit weinig response opleverde, is besloten een groter netwerk aan te spreken via ERTICO. ERTICO – Intelligent Transport Systems (ITS) Europe is een publiek-private samenwerkingsorganisatie, die verschillende sectoren in de ITS-gemeenschap met elkaar verbindt. ERTICO heeft een korte introductie naar het project met een link naar de vragenlijst in hun nieuwsbrief opgenomen.

Er zijn vervolgens gesprekken gevoerd met de volgende externe partijen als follow-up op de vragenlijst:

- POLIS, Transport for London (TfL), Fédération des Professionnels de la Micro Mobilité (FPMM) en Traficom (Finnish Transport and Communications Agency)

Daarnaast hebben gesprekken plaatsgevonden met een Nederlandse gebruikersgroep (LegaalRijden) en een Europese handelsvereniging voor Licht Elektrische Voertuigen (LEVA EU).

De input uit de vragenlijsten en interviews is meegenomen in het overzicht van relevante (functionele) veiligheidsaspecten en risico-mitigerende maatregelen.

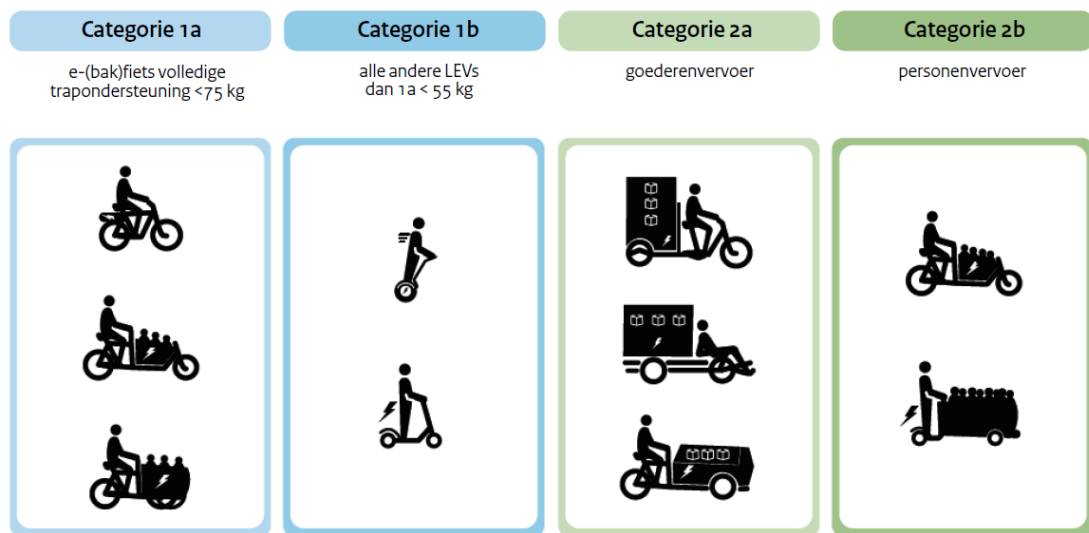
1.3 Leeswijzer

Dit rapport is als volgt opgebouwd: in het huidige hoofdstuk 1 worden het doel en de aanpak gepresenteerd. Het volgende hoofdstuk 2 presenteert een (basis)categorisering en verfijning van de categorisering van deze typen voertuigen. Hoofdstuk 3 beschrijft de verschillende relevante veiligheidsaspecten die bij de introductie en toelating van deze voertuigen in aanmerking moeten worden genomen, samen met mogelijke risico's en mitigerende maatregelen. Vervolgens bespreekt hoofdstuk 4 resterende risico's voor de verkeersveiligheid. Het rapport sluit af met discussie en conclusies in hoofdstuk 5.

2 Categorisering van de voertuigen

2.1 Categorisering LEV-kader

In de huidige versie van het Nederlandse LEV-kader [1][6] worden Lichte Elektrische Voertuigen ingedeeld in 4 categorieën (zie figuur 2). Categorie 1b is primair bedoeld voor individueel vervoer, categorie 2a en 2b voor vervoer van goederen (2a) en meerdere personen (2b). Categorie 1a is bedoeld voor individueel vervoer, of voor het vervoeren van maximaal 3 personen. Wat betreft maximaal toegestane massa rijklaar (massa in bedrijfsklare, onbeladen, toestand) is er voor categorie 1a een grens van 75 kg (is de massa rijklaar hoger, dan valt het voertuig dus automatisch in categorie 2a of 2b). Onder categorie 1a vallen de fietsen met trapondersteuning, onder 1b alle overige Lichte Elektrische Voertuigen voor individueel vervoer met een gewicht tot maximaal 55 kg. Omdat in de technische eisen voor categorie 1b een stuur voorzien is, vallen de balanceer voertuigen zonder stuur buiten deze categorie. Het Ministerie van I&W onderzoekt de mogelijkheid om voor deze voertuigen een categorie 1c aan het huidige LEV-kader toe te voegen. In het vervolg van het rapport zal voor de groep voertuigen waar deze studie over gaat daarom de term LEV 1c-voertuigen worden gebruikt.



Figuur 2 Categorisering van Lichte Elektrische Voertuigen in het huidige LEV-kader (figuur uit [6]).

2.2 Categorisering op basis van EN17128

Tijdens de studie is duidelijk geworden dat de categorie LEV's zonder stuur nog volop in ontwikkeling is en dat er op regelmatige basis nieuwe concepten bedacht worden die binnen deze omschrijving zouden kunnen passen. Om deze reden wordt aangeraden om eventuele

regelgeving zodanig generiek te formuleren, dat zoveel mogelijk wordt voorzien in deze ontwikkelingen.

Hiervoor wordt ook verwezen naar de geharmoniseerde EU-standaard EN17128:2020, in Nederland NEN-EN 17128:2020 [7]. Deze standaard is in het leven geroepen om zaken omtrent persoonlijke lichte elektrische voertuigen (PLEV's), waar de balansvoertuigen ook onder vallen, te standaardiseren. Dit is weliswaar geen bindende EU-richtlijn, maar hij is wel ontwikkeld onder de paraplu van de (bindende) Europese machinerichtlijn 2006/42/EC [8]. De standaard EN17128 is op veel vlakken een praktische interpretatie van deze machinerichtlijn, toegespitst op PLEV's en kan om die reden dus goed gebruikt worden om technische prestaties van het voertuig aan te toetsen.

In EN17128 worden PLEV's op generieke wijze gecategoriseerd, zoals weergegeven in onderstaande tabel 1. Et is duidelijk dat het aantal wielen, assen of sporen niet wordt gebruikt om de voertuigen te categoriseren, wat de vrijheid geeft om voertuigen in één van de categorieën onder te kunnen brengen.

Tabel 1 Categorisering van PLEV's zoals voorgesteld in [7]

Categorie	Zelf-balancerend?	Max. constructie snelheid	Zadel?
1	Nee	Tot 6 km/u	Nee
2	Nee	Tot 25 km/u	Nee
3	Ja	Tot 6 km/u	Met of zonder
4	Ja	Tot 25 km/u	Met of zonder

De balansvoertuigen passen dan in categorie 3 of 4, afhankelijk van de maximumsnelheid; de voertuigen die beschreven worden in dit rapport zouden dan vallen in categorie 2 of 4.

2.3 Verfijning van de categorisering

Op basis van de categorieën uit de vorige paragraaf kan een verfijning worden gemaakt, om deze meer toe te spitsen op de specifieke voertuigen die in dit rapport bedoeld worden. Deze voertuigen laten zich verder omschrijven door de volgende eigenschappen:

- Het voertuig heeft geen stuur / handvatten en is elektrisch aangedreven.
- Het voertuig is bedoeld om door één berijder, zonder passagiers, bereden te worden. Er is geen voorziening voor het vervoeren van passagiers buiten de berijder
- Er is geen voorziening voor het vervoeren van bagage, anders dan wat de berijder op of met zijn lichaam kan dragen
- De totale massa van voertuig en berijder plus bagage is niet groter dan 140 kg (gelijk aan categorie 1b [1][6])

3 Relevante (functionele) veiligheidsaspecten, risico's en mitigerende maatregelen

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de (functionele) veiligheidsaspecten die betrekking hebben op achtereenvolgens de balansvoertuigen (paragraaf 3.1), de gebruiker (paragraaf 3.2) en de omgeving (paragraaf 3.3). Veiligheidsaspecten die niet binnen één van deze onderwerpen vallen worden besproken in paragraaf 3.4. Daarbij worden per onderwerp risico's genoemd en mogelijke mitigerende maatregelen besproken. Aan het eind van iedere paragraaf worden de risico's en mogelijke mitigerende maatregelen samengevat in een tabel.

3.1 Relevante (functionele) veiligheidsaspecten van de voertuigen

Met betrekking tot het voertuig zijn op verschillende onderdelen functionele veiligheidsaspecten te definiëren, zowel op het gebied van de kinematica van het voertuig (remcapaciteit, (maximale) snelheid, (maximale) versnelling en stabiliteit over verschillende oppervlakken) alsook in de constructie (de aandrijving, gewicht van het voertuig, sterkte van verschillende onderdelen in het voertuig en elektronische veiligheid).

Extra aandacht wordt besteed aan aspecten die typerend zijn voor deze voertuigcategorie elektrische balansvoertuigen zonder stuur, en/of welke wezenlijk verschillen voor deze voertuigcategorie ten opzicht van de categorieën 1a en 1b uit het LEV-kader.

Tabel 2 aan het einde van deze paragraaf geeft een samenvatting van de relevante risico's en mitigerende maatregelen met betrekking tot het voertuig.

3.1.1 Aandrijving

Als gekeken wordt naar de aandrijving van de LEV 1c-voertuigen is het goed te noemen dat een deel van deze voertuigen, zoals de OneWheel of EUC, (zo goed als) symmetrisch is wat de aandrijving betreft. Het voertuig heeft geen absolute voorwaartse of achterwaartse beweging, en kan in principe in beide richtingen gebruikt worden.

De aandrijving van de LEV 1c-voertuigen gebeurt met een of meerdere elektromotor(en). Eén van de veiligheidsaspecten die hier aan de orde komt is het motorvermogen. Voor de voertuigcategorieën 1a en 1b is gekozen voor een begrenzing van het motorvermogen op maximaal 250W (voor categorie 1a) of maximaal 400W voor categorie 1b [6], waardoor de maximaal haalbare snelheid, acceleratie (en opbouw van de acceleratie in de tijd, ofwel jerk) wordt beperkt. Door het begrenzen van het motorvermogen wordt het voor een gebruiker moeilijker gemaakt om het voertuig op te voeren, omdat dit dan niet door een relatief eenvoudige ingreep via de software te realiseren is. Voor voertuigen in categorie 1c kan dit

deels ook worden toegepast; namelijk voor voertuigen zonder zelf-balancerende functie zoals bijvoorbeeld een elektrisch skateboard. De European Transport Safety Council (ETSC) beveelt in hun rapport [9] het toepassen van mechanismen ter voorkoming van opvoeren van e-steps aan. Het is verstandig iets dergelijks ook voor de LEV 1c-categorie in te voeren. Een andere maatregel kan zijn om garanties te laten vervallen als het voertuig is opgevoerd [10]. Het opvoeren van voertuigen is overigens geen uniek risico voor de LEV categorie 1c voertuigen, echter kan bij een hoger toegestaan maximum vermogen het effect mogelijk groter zijn. Over het opvoeren van LEV's zonder stuur is op het moment van schrijven bij ons geen informatie bekend.

Voor voertuigen met een zelf-balancerende functie is een beperking van het motorvermogen niet per definitie een veilige manier om de snelheid te beperken. Zelf-balancerende voertuigen hebben namelijk ook elektrisch vermogen nodig om de berijder te (ondersteunen in het) balanceren, wat geleverd wordt door dezelfde motor die ook de aandrijving verzorgt. Dat is dus wezenlijk anders dan bij de voertuigen in categorie 1a en 1b, of een elektrisch skateboard in categorie 1c, waar het vermogen enkel voor voortstuwing van het voertuig gebruikt wordt. Door het totale vermogen in zelf-balancerende voertuigen te beperken, kan de situatie ontstaan dat het voertuig zo veel vermogen vraagt voor de aandrijving, dat er geen of onvoldoende vermogen overblijft voor de balanceerfunctie. Dit zou kunnen leiden tot een ongewenste situatie waarbij berijder die juist bij een toenemende snelheid een groter risico loopt om ten val te komen. Voor zelf-balancerende voertuigen is het wellicht verstandiger om andere eisen te stellen, zoals bijvoorbeeld een constructieve begrenzing van de maximum snelheid, in combinatie met een elektromotor die op die maximum snelheid, bij de maximale toegestane massa van de berijder, nog voldoende vermogen kan leveren om deze te balanceren. Het totale vermogen van de elektromotor is dan geen factor bij de maximale snelheid. Dit opent weliswaar, op zijn minst op papier, de mogelijkheid om het voertuig te hacken en deze (maximale snelheids)beveiliging te omzeilen, maar het is erg moeilijk om een product volledig tegen moedwillig misbruik te beschermen met regelgeving.

Een andere factor die van belang is, is de acceleratie van het voertuig. Gezien de grote hoeveelheid koppel die een elektromotor kan leveren vanaf zeer laag toerental, is een overmatige acceleratie en de jerk, goed voorstelbaar. Deze overmatige acceleratie kan een berijder ook van het voertuig afwerpen en daarom dient de acceleratie ook beperkt te worden. EN17128 stelt hiervoor een waarde van 2.0 m/s^2 voor. Ter vergelijking; een studie van De Graaf et. al. [11] concludeert dat de acceleratie drempel waarbij proefpersonen nog net hun evenwicht kunnen bewaren in langsricting in de orde grootte van $0.48\text{-}0.75 \text{ m/s}^2$ ligt (mogelijk hoger in geval van anticipatie). In een studie van de TU Delft [12] wordt gesteld dat voor e-steps (met stuur) 1.5 m/s^2 een grens is waarbij 'gevaar voor achterovervallen ontstaat'. Een maximale acceleratie van 2 m/s^2 uit EN17128 lijkt aan de hoge kant, zeker als deze (nagenoeg) instantaan zou kunnen optreden. Het lijkt dan ook verstandig om naast acceleratie, ook een grenswaarde te bepalen voor de jerk (De Graaf et. al. suggereert $0.5 - 0.6 \text{ m/s}^3$ [11]). Wat voor de LEV 1c voertuigcategorie een juiste grenswaarde (op acceleratie en/of jerk) zou moeten zijn is naar ons weten onbekend en zou verder onderzocht dienen te worden.

Net zoals bij het remsysteem (zie paragraaf 3.1.2) is ook bij de aandrijving de detectie van een berijder een relevant aspect [12]. In dit geval zou het wenselijk zijn om de aandrijving niet in te kunnen schakelen als er geen berijder gedetecteerd is.

Tenslotte kan nog het risico op uitval van de aandrijving genoemd worden. Zeker in het geval van voertuigen met een zelf-balancerende functie kan dit leiden tot een val van de berijder. In geen geval mag het uitvallen van de aandrijving leiden tot blokkerende wiel(en), en het verdient aanbeveling om hier een waarschuwing (akoestisch, optisch en/of haptisch) aan te koppelen.

EN17128 biedt op het gebied van de aandrijving een aantal handvaten in de vorm van eisen en testprocedures. Deze zouden overgenomen kunnen worden, met dien verstande dat de grenswaardes voor acceleratie aanscherping en/of nader onderzoek behoeven.

3.1.2 Remcapaciteit

Met betrekking tot de remcapaciteit zijn er verschillende aspecten die relevant zijn met betrekking tot veilig gebruik van de LEV 1c-voertuigen. In deze paragraaf wordt ingegaan op de constructie van de rem (paragraaf 3.1.2.1), het gedrag van het remsysteem (paragraaf 3.1.2.2) en de remvertraging / remafstand van de bedrijfsrem (paragraaf 3.1.2.3) en hulprem (paragraaf 3.1.2.4).

3.1.2.1 Constructie

Om veilig aan het verkeer deel te kunnen nemen, moet een voertuig in ieder geval zijn voorzien van een remsysteem. Aan een remsysteem kunnen diverse eisen gesteld worden op het gebied van constructie, werking en prestaties. Voor de voertuig categorieën die op dit moment onder typegoedkeuringen vallen, zijn deze eisen in EU-richtlijnen opgenomen. Al deze voertuigen hebben ten minste twee wielen, verdeeld over ten minste twee assen, deze voertuigen zijn in de praktijk van oudsher uitgerust met mechanisch, hydraulisch of pneumatisch bediende frictieremmen. De bestaande regelgeving op dit vlak is dan ook opgesteld met zulke voertuigen eigenschappen en remsystemen in het achterhoofd. De eisen in de bestaande regelgeving omschrijven dus niet alleen de vereiste prestaties, maar ook de constructieve aard van het remsysteem. Om deze reden is deze regelgeving, al of niet in licht aangepaste vorm, dan ook goed toe te passen op een fiets of een e-bike van de categorie LEV 1a.

Voor LEV 1c-voertuigen is dergelijke regelgeving echter niet goed toepasbaar, omdat deze voertuigen zelden tot nooit frictieremmen hebben. Het remmen gebeurt typisch door middel van dezelfde elektromotor die ook de aandrijving verzorgt; via een regeneratief remsysteem. Deze elektromotor wordt dan gebruikt als generator, waarbij kinetische energie (bijvoorbeeld via een dynamo) wordt omgezet in elektrische energie die in de batterijen wordt opgeslagen. Dit remprincipe staat bekend als regeneratief remmen. De bediening van het remsysteem gebeurt ook volledig op basis van sensoren en er is geen stuur of ander fysiek bedieningssysteem aanwezig om een bijvoorbeeld een remhendel aan te bevestigen. Daarbij komt dat het voor een balansvoertuig mogelijk is om slechts om slechts één as of zelfs maar één wiel te hebben, wat voor meer traditionele voertuigen die onder typekeuring vallen niet het geval is.

Aangezien het niet realistisch is om een LEV 1c-voertuig te voorzien van een remsysteem wat constructief voldoet aan de bestaande regelgeving, zou dan voornamelijk gekeken moeten worden naar de functionele prestaties van het remsysteem en niet zozeer naar de techniek waar deze prestaties mee gerealiseerd worden. Een voorbeeld hiervan is de reminrichting met twee gescheiden regelkringen die door de bestaande regelgeving wordt omschreven. Deze is op een balansvoertuig niet te implementeren, maar er zijn wel andere technische oplossingen te ontwikkelen die een vergelijkbaar resultaat en gedrag opleveren. In de volgende paragrafen wordt ingegaan op het gedrag en de prestaties van het remsysteem.

3.1.2.2 Gedrag van het remsysteem

In algemene zin (niet specifiek voor de voertuigcategorie LEV 1c) moet het remsysteem de bestuurder in staat stellen om op een gecontroleerde manier af te remmen, waarbij er ook nog in enige mate gestuurd moet kunnen worden. Als de rem gebruikt wordt, mag geen van de wielen instantaan blokkeren, omdat dit tot oncontroleerbaarheid van het voertuig kan

leiden, of tot het afwerpen van de berijder. Ook moet de rijrichting van het voertuig niet significant worden beïnvloed door het gebruiken van de rem.

Het is ook belangrijk dat de remactie te allen tijde krachtiger is dan de aandrijvingsactie. Daarnaast mag het voertuig onder geen voorwaarde weer aandrijving toestaan na een remactie, tenzij deze door de berijder wordt gevraagd.

Een ander aspect wat onder het remsysteem genoemd kan worden, specifiek voor de voertuigcategorie LEV 1c, is de detectie van de aanwezigheid van de berijder. Als de berijder van het voertuig af zou vallen, is het ongewenst dat het voertuig zelfstandig kan doorrijden. Een systeem dat in zo'n geval automatisch de aandrijving onderbreekt en zelfs het remsysteem activeert, is aanbevelenswaardig.

Een specifiek aspect wat belangrijk is bij een regeneratief remsysteem, is dat onder alle omstandigheden geborgd moet zijn dat bij het afremmen opgewekte energie ook daadwerkelijk opgeslagen (of (thermisch) gedissipeerd) kan worden, ook als de batterijen volledig opgeladen zijn, omdat anders de remcapaciteit van het voertuig wordt ingeperkt. Als alternatief kan het voertuig zo ontworpen zijn dat deze niet in de situatie van een te volledig opladen batterij komt, bijvoorbeeld door de berijder tijdig te waarschuwen en bij geen reactie veilig tot stilstand te komen. Hiervoor zijn verschillende oplossingen denkbaar, maar aangetoond zou moeten worden dat de gekozen oplossing effectief functioneert onder alle omstandigheden en er dus altijd geremd kan worden wanneer het voertuig in voortbeweegt.

3.1.2.3 Remvertraging en remafstand, bedrijfsrem

Ten behoeve van de verkeersveiligheid moet een voertuig in ieder geval technisch in staat zijn om in de nominale toestand met een zekere vertraging te remmen. Het systeem dat dit mogelijk maakt, wordt de bedrijfsrem genoemd. Hoe groot deze vertraging minimaal moet zijn, dient nog bepaald te worden. Hiervoor biedt de diverse beschikbare literatuur enige houvast.

In het rapport 'Untersuchung zu Elektrokleinstfahrzeugen' [13] wordt door BAST een gemiddelde remvertraging van 3.5 m/s^2 voorgesteld voor een volremming vanaf de maximum snelheid. Hierbij wordt gerefereerd aan de Duitse Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung (StVZO), die deze waarde specificeert voor voertuigen die constructief begrensd zijn op een maximum snelheid van niet meer dan 25 km/u. Dit zou resulteren in een remafstand van 6,89 m vanaf 25 km/u.

In EN17128 wordt als remvertraging een waarde van minimaal $1,7 \text{ m/s}^2$ genoemd voor de zogenaamde Mean Fully Developed Deceleration (MFDD). Dit is de gemiddelde remvertraging over het interval vanaf 80% tot 10% van de beginsnelheid. Omdat de begin- en eindfase van de remming hier niet in worden meegenomen, is de MFDD vaak iets hoger dan de gemiddelde remvertraging over de hele remming tot stilstand. De waarde van $1,7 \text{ m/s}^2$ is dan ook erg laag te noemen; zelfs als deze waarde over de gehele remming wordt gehaald, is de remafstand vanaf 25 km/u nog altijd 14,18 m wat met het oog op de verkeersveiligheid naar onze mening onvoldoende is.

In de e-bike norm EN 15194 [14] wordt een minimale remvertraging van $3,4 \text{ m/s}^2$ voorgeschreven (afgeleide van voorgeschreven minimale remkracht op het voorwiel). Voor de categorie LEV 1b wordt in het LEV-kader een minimale remvertraging van 3 m/s^2 vereist. Voor landbouwvoertuigen is typegoedkeuring geharmoniseerd in EU-verordening 167/2013[15], en daar wordt voor voertuigen die een constructiesnelheid van maximaal 30 km/u hebben, een minimale remvertraging van $2,4 \text{ m/s}^2$ geëist.

Gebaseerd op de spreiding van deze waardes lijkt een minimale remvertraging van $3,0 \text{ m/s}^2$ voor een balansvoertuig een redelijk uitgangspunt, welke technisch mogelijk is (let wel; de uiteindelijk remvertraging die bij deze voertuigen gehaald wordt is, waarschijnlijk meer dan bij de voertuigen in categorie 1a en 1b, afhankelijk van de vaardigheden van de bestuurder). Dit zou een remafstand van ongeveer 8,0 m opleveren. Deze remprestatie zou dan gehaald

moeten kunnen worden door een berijder met ervaring, net zoals een fietser ook enige ervaring moet opbouwen voordat hij de grenzen van de fiets veilig kan benaderen. Wel is er een verschil tussen voertuigen uit categorie 1a en 1b enerzijds en die uit categorie 1c: bij voertuigen in categorie 1c kan de berijder bij het inzetten van de remming (en dus op mogelijk hogere snelheid) instabiel worden, vanwege het ontbreken van een stuur/handvat waarmee de berijder zichzelf kan stabiliseren. Bij categorie 1a en 1b treedt de instabiliteit (van het voertuig) pas op als de snelheid laag is.

3.1.2.4 Remvertraging en remafstand, hulprem

In het geval van een technisch probleem waardoor de bedrijfsrem niet meer goed zou functioneren, dient er een secundair remsysteem aanwezig te zijn wat de berijder in staat stelt om alsnog gecontroleerd tot stilstand te komen. De vertraging mag minder sterk zijn dan die van de bedrijfsrem. Dit is analoog aan de eis van een meerkrings remsysteem en/of een gebruik van de parkeerrem als hulp- of noodrem voor een conventioneel voertuig. In EN17128 wordt daarvoor een remvertraging van $1,25 \text{ m/s}^2$ voorgesteld (wat een opvallend klein verschil is met de nominale waarde van $1,7 \text{ m/s}^2$ uit diezelfde norm). In StVZO par. 41 wordt een waarde van 44% van de nominale waarde genoemd, die in StVZO op $3,5 \text{ m/s}^2$ bedraagt, wat dan zou neerkomen op $1,54 \text{ m/s}^2$. Gebaseerd op deze twee waardes lijkt een waarde van $1,4 \text{ m/s}^2$ een redelijk uitgangspunt.

Voor zowel de bedrijfsrem als de hulprem is het te overwegen niet alleen een minimale, maar ook maximale remvertraging te specificeren (analoog aan een maximale acceleratie), om het risico op afwerpen van de berijder te beperken. Om te bepalen of dit inderdaad wenselijk is en wat deze grenswaarden dan zouden moeten zijn (afweging voldoende remcapaciteit om ongeval te voorkomen, versus risico om van het voertuig geworpen te worden) is in deze studie onvoldoende informatie beschikbaar en zou additioneel onderzoek dus wenselijk zijn.

3.1.3 Bediening van het voertuig

Eén van de eigenschappen die een LEV 1c-voertuig onderscheidt van bijvoorbeeld een e-bike is het ontbreken van een stuur. Dat betekent dat er ook geen voor de hand liggende plek is om (mechanische) bedieningsorganen zoals een remhendel aan te brengen. De bediening van een LEV 1c-categorie voertuig gebeurt dan ook volledig elektronisch via ingebouwde sensoren in het voertuig of een afstandsbediening. In grote lijnen zijn er op technisch vlak drie mogelijke manieren om LEV 1c-voertuigen te bedienen:

- Een bekabelde controller (bedieningsorgaan/afstandsbediening) die via een kabel verbonden is met het voertuig en door de gebruiker in de hand wordt gehouden.
- Een draadloze controller (afstandsbediening) die draadloos verbonden is met het voertuig en door de gebruiker in de hand wordt gehouden. De verbinding zal over het algemeen plaatsvinden via een radiofrequentie. Hier zijn twee hoofdgroepen te onderscheiden: een voertuig kan een eigen, systeem specifieke controller hebben, of een voertuig kan bediend worden met een app op de mobiele telefoon via Bluetooth.
- Sensoren in of op het voertuig die (verandering van) lichaamsbeweging of -houding van de berijder omzetten in rij- en stuuracties.

Elk van deze drie bedieningsmethoden kent zijn eigen specifieke veiligheidsaspecten, maar ook deze zijn generiek te maken.

In algemene zin kan elektromagnetische compatibiliteit (EMC) genoemd worden als factor in de bediening van een LEV 1c-categorie voertuig, omdat de bediening elektronisch gebeurt.

EN17128 biedt duidelijke eisen en testmethodes omtrent EMC, die ons inziens overgenomen zouden kunnen worden.

Als laatste moet genoemd worden, dat de bediening van een voertuig in categorie 1c ook deels puur mechanisch kan plaatsvinden. Hierbij valt bijvoorbeeld te denken aan het sturen met een elektrisch skateboard, dat net zoals bij een conventioneel skateboard gebeurt door met het lichaam enigszins naar één kant te hangen. De wielophanging van het skateboard is zodanig geconstrueerd, dat door de resulterende schuinstand van het bord de assen enigszins sturen. Op dit vlak lijken geen specifieke risico's van toepassing.

3.1.3.1 Bediening met een controller (afstandsbediening)

Voor voertuigen die met een controller (afstandsbediening) bediend worden, al dan niet bedraad, bestaat het risico dat de verbinding verstoord of verbroken raakt. Dit kan bijvoorbeeld gebeuren omdat 1) een kabelbreuk, 2) omdat de berijder de bediening laat vallen, omdat de radioverbinding tussen afstandsbediening en voertuig verstoord wordt of omdat de batterijen van een draadloze afstandsbediening leegraken. In alle gevallen is het effect hetzelfde: de bestuurder kan niet langer zijn 'instructies aan het voertuig doorgeven. In zulke gevallen zou het voertuig op soortgelijke wijze moeten reageren als wanneer de berijder niet op het voertuig wordt gedetecteerd, en stabiel tot stilstand komen.

Vooraf bij draadloze verbindingen bestaat ook het risico dat bij een verstoorde verbinding de instructies met enige vertraging of slechts deels worden overgebracht naar het voertuig. Hiervoor zou een controlemechanisme moeten worden geïmplementeerd, wat in zulke gevallen de berijder optisch, akoestisch en/of haptisch waarschuwt en mogelijk ook het voertuig afremt.

Tenslotte bestaat bij een draadloze verbinding het risico van een doelbewuste verstoring of hack door een derde partij. Het is op dit moment nauwelijks in te schatten in hoeverre dit risico zich daadwerkelijk zou kunnen manifesteren. Naarmate gebruik van de LEV 1c-voertuigen toeneemt zal de relevantie van dit risico toenemen en is nader onderzoek naar de omvang van het cybersecurity risico en mogelijk mitigerende maatregelen wellicht zinvol.

3.1.3.2 Bediening via sensoren

Indien de bediening plaatsvindt via sensoren in of op het voertuig, bestaat het risico dat zo'n sensor of de bijbehorende bedrading stuk gaat, of de sensor vervuilt raakt waardoor deze niet meer juist functioneert. Het voertuig moet dit dan kunnen herkennen, en ook in dit geval de berijder waarschuwen en eventueel afremmen.

3.1.4 Zichtbaarheid

Een ander belangrijk aspect voor de veiligheid is zichtbaarheid van voertuig en berijder. Deze paragraaf focust zich op zichtbaarheid van het voertuig zelf, zichtbaarheid van de gebruiker op het voertuig wordt verderop besproken (paragraaf 3.2.3). Voor een LEV 1c-categorie voertuig geldt vaak dat het klein en laag is in verhouding tot andere voertuigen, zoals bijvoorbeeld een e-bike. Daardoor is de zichtbaarheid van het voertuig op zich minder groot dan die van een e-bike. De berijder staat recht op het voertuig, en is wat dat betreft ten minste even zichtbaar als een voetganger. Daarmee kan gesteld worden dat de zichtbaarheid van het geheel van berijder en voertuig bij daglicht ongeveer vergelijkbaar is met die van een voetganger. Vanwege de hogere snelheid van een LEV 1c-voertuig ten opzichte van een voetganger is een betere zichtbaarheid echter wenselijk.

Om ook in omstandigheden met beperkt licht of in het donker zichtbaar te zijn dient ook een LEV 1c-voertuig verlicht te zijn en retroreflectoren te hebben. Omdat deze voertuigen zo laag zijn, is het niet mogelijk om deze componenten op vergelijkbare hoogte aan te brengen als op bijvoorbeeld een e-bike. Wel kunnen ze voldoen aan de daarvoor geldende eisen uit ISO 6742-

1:2015 (verlichting) en ISO 6742-2:2015 (retro-reflectoren), zoals ook EN17128 eist. Het is ons inziens dan ook verstandig om deze eisen minimaal over te nemen. Bij LEV 1c-voertuigen welke geen absolute voor- of achterkant hebben, bijvoorbeeld voor de OneWheel, zien we dat de kleur van de verlichting zich aanpast op de rijrichting, zodat het witte licht altijd in de voorwaartse richting schijnt, en het rode licht achterwaarts [19].

In verschillende bronnen wordt het niet goed kunnen plaatsen van verlichting als een zorgpunt gezien. Zo wordt aangegeven dat de verlichting mogelijk onvoldoende zicht biedt aan de bestuurder [4][13] en wordt zorg geuit voor verblinden van andere weggebruikers door overstraling (bij kantelen van het voertuig wanneer er bijvoorbeeld geremd wordt) [3]. Het niet goed kunnen bevestigen van verlichting is één van de redenen voor de Duitse overheid om deze groep voertuigen zonder stuur vooralsnog niet toe te staan [4][13].

Er is naar ons weten nog geen onderzoek gedaan naar de daadwerkelijke zichtbaarheid van LEV 1c-voertuigen in het verkeer, naar mogelijke verblinding, of naar welke maatregelen effectief zijn in het verbeteren van de zichtbaarheid. Dergelijk onderzoek kan ondersteunen of additionele eisen nodig zijn (t.o.v. wat nu al beschreven wordt in EN17128), en/of welke maatregelen gepromoot zouden moeten worden.

3.1.5 Hoorbaarheid

De berijder van een voertuig uit categorie 1c moet zichzelf ook hoorbaar kunnen maken om een waarschuwingssignaal te geven, net zoals bijvoorbeeld een fietser dat moet kunnen met een bel. Ook hier geldt dat vanwege het ontbreken van een stuur, er geen voor de hand liggende fysieke plek is om daar een voorziening voor aan te brengen. Een mogelijkheid is om de akoestische waarschuwing via een afstandsbediening te geven. Ook op dit gebied geeft EN17128 richting; de akoestische waarschuwing zou moeten voldoen aan ISO 14878:2015, Klasse II. Er wordt ook genoemd dat het voertuig niet op zou mogen starten als de afstandsbediening voor dit akoestische waarschuwingssignaal niet is aangesloten.

Een ander mogelijk aspect van hoorbaarheid is dat deze elektrische voertuigen stil zijn, en daardoor lastig hoorbaar voor andere weggebruikers. Mogelijke mitigerende maatregel hiervoor is een permanent akoestisch signaal als het voertuig in beweging is, vergelijkbaar met het soort signaal wat is voorgesteld voor elektrische auto's (Acoustic Vehicle Alerting System [3][17]), of een akoestisch signaal wanneer het voertuig achterwaarts beweegt (Reverse Warning [18]). Een verplichting voor een dergelijk systeem op LEV 1c-voertuigen is wellicht geen vereiste (een e-bike heeft een vergelijkbare snelheid en massa en daarvoor is een dergelijk signaal niet vereist), maar het zou, net als in de voorgestelde eisen voor de categorie LEV 1b, optioneel toegelaten kunnen worden.

3.1.6 Stabiliteit

De stabiliteit van de voertuigen in categorie 1c is een in het oog springend aspect, zeker voor de voertuigen met slechts één as en/of wiel. Welbeschouwd zijn er twee aspecten aan die stabiliteit:

- De stabiliteit van de berijder op het voertuig;
- De stabiliteit van het voertuig op de weg.

3.1.6.1 Stabiliteit van de berijder op het voertuig

Bij de stabiliteit van de berijder op het voertuig is een duidelijk onderscheid te maken tussen voertuigen met en zonder een zelf-balancerende functie. Bij de voertuigen zonder zo'n functie is die stabiliteit enkel afhankelijk van de vaardigheid van de berijder, terwijl een voertuig met zo'n functie de berijder daarin ondersteunt. Dit betekent dat bij zelf-balancerende voertuigen

de uitval, of het verminderd functioneren van de motor in enige vorm, direct invloed kan hebben op de stabiliteit van de berijder op het voertuig. Het leeg raken van de batterij kan hierin ook een factor zijn, omdat een te ver ontladen batterij niet altijd de capaciteit zal hebben om de snelheid te behouden en de berijder te balanceren. Om dit risico te beperken, dient het voertuig hiervoor tijdig te waarschuwen, en mogelijk gecontroleerd te vertragen zodat de berijder veilig kan afstappen.

In vergelijking met een fiets of e-bike, waarop het ook moeilijk is om op lage snelheid de balans te behouden, zijn er twee grote verschillen aan te geven. Omdat een fiets een zadel en een stuur heeft, is het voor een fietser relatief gemakkelijk om op lage snelheid een voet aan de grond te zetten, waarbij de berijder niet meteen van het voertuig valt of gescheiden raakt. Met name voor voertuigen met slechts één as en/of wiel kan het in deze situatie bijzonder moeilijk zijn om zowel stabiel als goed verbonden met het voertuig te blijven.

Daar komt bij dat het op een fiets of e-bike vanwege het stuur makkelijker is om op snelheid met kleine verstoringen om te gaan. Deze kunnen immers met het stuur alleen worden gecorrigeerd, zonder dat de berijder daarvoor zijn lichaamsgewicht (sterk) hoeft te verplaatsen. In het onderzoek van BAST [13] wordt een stuur of handvat zelfs zeer belangrijk gevonden om het voertuig ook in kritische situaties nog goed te besturen en bij het remmen te voorkomen dat een berijder van het voertuig valt.

Een laatste factor voor de stabiliteit is de noodzaak voor de berijder om soms zijn lichaam te bewegen om bijvoorbeeld over zijn schouder te kunnen kijken of richting aan te geven (ook genoemd in [3]). Hierbij is het soms onvermijdelijk dat de balans verandert, en afhankelijk van het type voertuig en de manier waarop de berijder dat doet, kan dit de koers en/of de stabiliteit van het voertuig onwillekeurig beïnvloeden. Dit is mede afhankelijk van de behendigheid/ervaring van de berijder, maar hier zijn tot op heden ons geen onderzoeken over bekend.

3.1.6.2 Stabiliteit van het voertuig op de weg

Een andere vorm van stabiliteit is die van het voertuig op de weg. Hier zijn verschillende relevante veiligheidsaspecten te benoemen.

Het eerste aspect is de stabiliteit op zeer lage snelheid en bij stilstand, die afhankelijk is van het aantal wielen en assen. Een elektrisch skateboard, bijvoorbeeld, zal ook op zeer lage snelheid en bij stilstand zelf inherent stabiel op de weg staan. Voertuigen met slechts één as en/of één wiel daarentegen, zijn afhankelijk van hun zelf-stabiliserende functie. In hoeverre zo'n voertuig op zeer lage snelheid en/of bij stilstand nog stabiel is, hangt in grote mate af van de techniek en in meer of mindere mate van de vaardigheden van de berijder.

Het tweede aspect is de stabiliteit op snelheid, onder invloed van verstoringen in het wegdek. Hier geldt dat een voertuig met grotere wielen in het voordeel is ten opzichte van een voertuig met kleinere wielen, en dat luchtbanden in het voordeel zijn ten opzichte van massieve banden of wielen. EN17128 geeft hier een aantal minimale wielmaten voor verschillende soorten voertuigen, die overgenomen zouden kunnen worden. In Spanje wordt een grotere minimale wieldiameter van 8" (203 mm) gehanteerd, voor e-steps wordt in [9] een minimale wieldiameter van 12" (305 mm) aanbevolen.

In Duitsland wordt een rijtest met verschillende wegprofielen gebruikt om de stabiliteit van het voertuig te testen, waarbij het voertuig bestuurbaar moet blijven en de rijrichting niet meer dan een bepaalde marge mag afwijken [20].

Zowel op lage als op hoge snelheid is een goede werking van de zelf-stabiliserende functie noodzakelijk voor de inherent instabiele voertuigen in de categorie LEV 1c (zoals de EUC en OneWheel). Het uitvallen van de elektromotor kan bij deze voertuigen zorgen voor het wegvallen van de zelf-stabiliserende functie waardoor het voertuig niet meer te balanceren is.

Een laatste aspect wat hier nog genoemd kan worden is het risico dat een smal wiel, in de rijrichting, in een uitsparing zoals tramrails terecht zou kunnen komen. De minimale wielbreedte die door EN17128 genoemd wordt, is namelijk slechts 25 mm, wat vergelijkbaar is met de breedte van een band voor een racefiets. Een fiets kan dus ook in deze situatie terecht komen, maar op een voertuig met maar één wiel kan dit scenario waarschijnlijk sneller tot een val leiden. In de praktijk zijn de wielen/banden van een een-wielig voertuig in categorie 1c overigens vaak breder dan die 25 mm, dus in hoeverre dit daadwerkelijk een risico vormt, is de vraag.

3.1.7 Andere relevante veiligheidsaspecten van het voertuig

3.1.7.1 Gewicht en constructie

Het gewicht van deze voertuigen zal, gezien het relatief geringe formaat, typisch niet heel hoog zijn. De berijder zal in vrijwel alle gevallen veruit de grootste bijdrage aan het totale gewicht vormen. Het lijkt om deze reden dan ook niet nodig om een maximum te stellen aan het gewicht van de voertuigen in LEV categorie 1c. Als alternatief kan gedacht worden aan een maximaal toegestane totale massa, hoewel dit ook niet bijzonder zinvol lijkt. De voertuigen in categorie 1c zijn immers expliciet bedoeld voor slechts één berijder zonder passagier en zullen door hun geringe formaat ook geen plek bieden aan een passagier. Hiermee is de totale massa de facto al behoorlijk begrensd.

Een ander aspect gerelateerd aan het gewicht is dat het voertuig handmatig verplaatst moet kunnen worden wanneer het perongeluk op de weg of kruispunt, tot stilstand komt (i.v.m. bijvoorbeeld lege batterij of systeemfalen). Gezien het geringe formaat van deze voertuigen (en het feit dat ze vaak ontworpen zijn om op te kunnen tillen, mee te nemen in bijvoorbeeld het Openbaar Vervoer) worden hier geen significante risico's verwacht.

De fabrikant van het voertuig moet echter wel een maximaal technisch toegestane massa specificeren en aan kunnen tonen dat het voertuig voldoende stevig geconstrueerd is om deze massa te kunnen dragen. Ook hier biedt EN17128 een aantal testprocedures en eisen die overgenomen gebruikt zouden kunnen worden, zoals sterkte testen voor het platform (of de platforms) waarop de berijder staat en duurtesten.

3.1.7.2 Wendbaarheid en bestuurbaarheid

Het voertuig dient in voldoende mate bestuurd te kunnen worden. Er is in de literatuur echter geen duidelijke maat voor deze bestuurbaarheid te vinden, ook niet voor fietsen of e-bikes. In [6] wordt wel een aantal wendbaarheidstests voorgesteld, maar niet al deze tests zijn uitgevoerd, en wat wel is uitgevoerd is niet met ieder voertuig uitgevoerd. Wel wordt, op basis van de bestuurbaarheid, aangeraden om van zelf-balancerende voertuigen de maximum snelheid te beperken tot 20 à 25 km/u, wat in lijn is met het voorstel voor categorie 1c.

Aangezien de LEV 1c-voertuigen hun plek op het fietspad zouden moeten vinden, is het voor de hand liggend om te stellen dat deze voertuigen in staat zouden moeten zijn om voorkomende bochtradii in fietspaden te kunnen rijden. Omdat er echter ook voor e-bikes of fietsen geen duidelijke eisen zijn op dit vlak, is het niet voor de hand liggend om deze voor categorie 1c wel te stellen. Voor de toelating van elektrische steps zal wel een rijtest meegenomen worden waarin bestuurbaarheid en wendbaarheid worden getest.

3.1.7.3 Berijdersdetectie

Onder een aantal aspecten is berijdersdetectie al genoemd, maar dit onderwerp verdient nog wat extra toelichting. Het is namelijk niet alleen zo dat de berijder gedetecteerd moet worden

om de aandrijving in te schakelen en dat het voertuig zichzelf tot stilstand moet kunnen brengen als de berijder niet langer wordt gedetecteerd. Een derde functie van de berijdersdetectie zou moeten zijn dat zo lang er wèl een berijder wordt gedetecteerd, het voertuig ook niet mag toestaan dat de balanceerfunctie wordt uitgeschakeld als de aan/uitschakelaar onverhoopt bediend zou worden.

3.1.7.4 Veiligheid van het elektronisch systeem

Aangezien de categorie 1c-voertuigen elektrisch worden aangedreven, is ook het elektrische systeem een aspect wat aan de veiligheid raakt. In algemene zin is er voornamelijk het risico van elektrocutie en/of elektrische schokken en brand, zowel tijdens gebruik in het verkeer als bijvoorbeeld tijdens het opladen van de batterijen. Om deze risico's te beperken moet door de fabrikant onder andere gedacht worden aan het gebruik van kwalitatief hoogstaande componenten, het deugdelijk monteren van componenten en bekabeling, een goede bescherming tegen vocht en water, het vermijden van scherpe randen bij bekabeling. Omdat de deze voertuigen in de basis als elektrische machines beschouwd worden, dienen ze op dit gebied in ieder geval te voldoen aan de machinerichtlijn 2006/42/EC [8]. Dit geldt ook voor de LEV's die nu al op de markt zijn maar nog niet in Nederland op de openbare weg zijn toegestaan. In de praktijk is echter bij controle gebleken, dat zeker niet alle op de markt verkrijgbare voertuigen hier ook daadwerkelijk aan voldoen [21]. Het is dan ook zeer belangrijk om toezicht te houden op de markt, en ondeugdelijke producten snel uit de handel te nemen, of beter nog, niet op de markt te laten komen. EN17128 biedt een interpretatie van 2006/42/EC die specifieker gericht is op categorie 1c-voertuigen, maar het implementeren hiervan heeft enkel zin als afdoende controle gewaarborgd is.

Tabel 2 Samenvatting van de risico's en mogelijke mitigerende maatregelen voor de categorie 1c-voertuigen.

Aspect	Risico	Mitigerende maatregel
Aandrijving	Beperking van het vermogen (om snelheid te beperken) kan leiden tot het verlies van balanceerfunctie, waardoor de kans op vallen bij hogere snelheid juist toeneemt.	Constructieve begrenzing van de snelheid in plaats van beperking van het vermogen
	De elektromotor kan in principe een (te) grote acceleratie geven, waardoor de berijder mogelijk van het voertuig af wordt gegooid.	Beperking van de maximale acceleratie en eventueel aanvullen met maximale jerk. Geschikte grenswaarden nog te bepalen (grenswaarde 2 m/s ² in EN17128 [7] lijkt hoog)
	Voertuig kan zonder berijder voortbewegen	Aandrijving niet kunnen inschakelen als er geen berijder is gedetecteerd en afremmen tot stilstand als de bestuurder niet meer wordt gedetecteerd (na succesvolle inschakeling)
	Uitval van aandrijving	Uitval mag niet leiden tot blokkerende wielen. Daarnaast een waarschuwingssignaal geven.
	Uit-schakelaar wordt bediend uit als er nog een bestuurder op het voertuig staat	Zolang er een berijder wordt gedetecteerd, mag het voertuig niet toestaan dat de motor wordt uitgeschakeld als de aan/uitschakelaar onverhoopt bediend zou worden

Aspect	Risico	Mitigerende maatregel
Remcapaciteit	Gecontroleerd remmen niet mogelijk	Voorkomen dat wielen kunnen blokkeren en/of dat de rijrichting wordt beïnvloed door het gebruik van de rem
	Regeneratief remmen niet mogelijk bij volle batterij	Het voertuig moet zo ontworpen zijn dat het ten alle tijden geremd kan worden wanneer deze in bedrijf is
	Voertuig kan niet op tijd tot stilstand komen	Minimale remvertraging van 3.0 m/s ² vereisen.
	Bedrijfsrem werkt niet meer	Aanwezigheid van een secundair remsysteem verplicht stellen met een remvertraging van 1,4 m/s ²
Bediening	Bij voertuigen die met een afstandsbediening bediend worden kan de verbinding tussen voertuig en controller verstoord raken	Voertuig moet tot stilstand komen (vergelijkbaar met het niet meer detecteren van een berijder), in combinatie met een waarschuwing.
	Verstoring van (afstands)bediening door externe hack	Mogelijk kan hiervoor gekeken worden naar oplossingen uit de auto industrie (let wel; nog in ontwikkeling)
Zichtbaarheid	LEV 1c-voertuigen zijn klein en laag waardoor verlichting en retroreflectoren alleen op lage hoogte kunnen worden geplaatst en daardoor minder zichtbaar zijn.	Er is onderzoek nodig naar de daadwerkelijke zichtbaarheid om te bepalen of (en welke) additionele eisen nodig zijn.
	Bij kantelen van het voertuig kunnen andere weggebruikers verblind worden door overstraling	Er is onderzoek nodig naar het daadwerkelijke risico op overstraling om te bepalen of (en welke) additionele eisen nodig zijn.
Hoorbaarheid	Het bevestigen van een bel is door ontbreken van stuur/handvat niet vanzelfsprekend	Gebruik van een afstandbediening voor akoestisch waarschuwingssignaal. Het voertuig mag niet starten als deze controller niet is aangesloten (EN17128).
	Elektrische voertuigen maken weinig geluid. Andere weggebruikers horen ze daardoor mogelijk niet goed aankomen	Toepassing van permanent geluid wanneer het voertuig in beweging is en/of akoestisch signaal bij het achteruit rijden.
Stabiliteit	Bij het leegraken van de batterij zal het voertuig niet de capaciteit hebben om snelheid te houden en de berijder te balanceren.	Voertuig dient tijdig te waarschuwen bij leegraken batterij en mogelijk gecontroleerd te vertragen zodat de berijder veilig kan afstappen
	In geval van de zelf-balancerende voertuigen, zal uitval van de motor zorgen voor uitvallen van de balanceerfunctie en daarmee resulteren in een instabiel voertuig	Uitval van balanceerfunctie mag niet leiden tot blokkerende wielen. Daarnaast een waarschuwingssignaal geven.
	Oneffenheden in het wegdek kunnen de stabiliteit verstoren	EN17128 geeft hier een aantal minimale wielmaten voor verschillende soorten voertuigen. In Duitsland wordt een stabiliteitstest m.b.v. verschillende weg profielen gebruikt [20].
Gewicht	Breken, scheuren of doorbuigen van de constructie door overbelasting	Fabrikant moet maximaal toegestane massa specificeren

Aspect	Risico	Mitigerende maatregel
Elektronisch systeem	Risico van elektrocutie en/of elektrische schokken en brand, zowel tijdens gebruik in het verkeer als bijvoorbeeld tijdens het opladen van de batterijen	Voertuigen moeten minimaal voldoen aan de machinerichtlijn 2006/42/EC [8]. Omdat de EN17128 van deze richtlijn is afgeleid zou deze aangehouden kunnen worden. Er zou toezicht op gehouden moeten worden op naleving van de norm.

3.2 Relevante veiligheidsaspecten met betrekking tot de gebruiker

Met betrekking tot de gebruiker van een voertuig zijn er verschillende veiligheidsaspecten waar naar gekeken kan worden, zoals eisen aan de gebruiker zelf (paragraaf 3.2.1), eisen aan uitrusting ter bescherming bij een mogelijke val (paragraaf 3.2.2) of voor de zichtbaarheid (paragraaf 3.2.3). tabel 3 aan het eind van deze paragraaf geeft een samenvatting van de relevante risico's en mitigerende maatregelen met betrekking tot de gebruiker.

3.2.1 Gebruiker

Alle voertuigen vereisen bepaalde basisvaardigheden van de gebruiker alvorens deze veilig gebruikt kunnen worden in het verkeer. Voor de voertuigen in de LEV 1c-categorie zal dit niet anders zijn dan bijvoorbeeld voor de reguliere fiets, of de voertuigen in de LEV 1a- of 1b-categorie [2]. Wel zijn er verschillende aspecten te noemen die mogelijk anders zijn voor de LEV 1c-categorie, vergeleken met de categorieën 1a of 1b.

- **Stabiliteit:** zoals besproken in paragraaf 3.1.6.1 is de stabiliteit van de berijder op een LEV 1c-voertuig minder t.o.v. categorie 1a/1b door ontbreken van een zadel en /of stuur. Dit vereist extra vaardigheid van de berijder.
- **Voortbeweging:** Voor de zelf-balancerende voertuigen in de LEV 1c-categorie gebeurt het sturen, remmen en accelereren allemaal door middel van de lichaamshouding van de berijder. Deze gecombineerde vaardigheid, in combinatie met het ontbreken van steun aan een stuur / handvat, zorgt voor een steilere leercurve van de berijding/besturing van deze voertuigen.
- **Anticipatie:** voor de voertuigen in de categorie 1c is een grote mate van anticipatie in het verkeer van de berijder mogelijk nog relevanter dan voor de berijders van een e-bike. De voertuigen in de LEV 1c-categorie zijn nieuw, en in gebruik en ontwerp erg verschillend van de conventionele vormen van individueel vervoer. Daardoor zullen ze voor andere verkeersdeelnemers minder herkenbaar zijn, en hun gedrag minder voorspelbaar. Dit geldt niet alleen voor de LEV 1c-voertuigen, maar ook voor de e-steps uit categorie 1b welke in Nederland nog niet legaal rond mogen rijden (al zou je voor deze laatste groep kunnen beargumenteren dat deze vanwege veelvuldig gebruik in verschillende andere Europese steden een voorsprong heeft).
- **Interactie:** voor sommige van de voertuig typen in de LEV 1c-categorie staat de berijder dwars ten opzicht van de rijrichting (bijvoorbeeld bij OneWheel en e-skateboard). Dit is anders dan in andere, conventionele, voertuigen, en ook anders dan de voertuigen in LEV categorie 1a en 1b. Naast dat dit invloed kan hebben op de herkenbaarheid / voorspelbaarheid van deze voertuigen zoals in het vorige punt al even benoemd, kan dit ook invloed hebben op de mogelijkheid tot interactie tussen de LEV 1c en andere weggebruikers vanwege de afwijkende kijkhoek ten opzicht van andere verkeersdeelnemers. Het kan daardoor bijvoorbeeld lastiger zijn om

oogcontact te maken met weggebruikers, en het omkijken kan invloed hebben op de rijrichting van het voertuig vanwege de verandering van houding (zie ook paragraaf 3.3.2). De interactie met andere weggebruikers vraagt daarom wellicht meer van de berijder van deze specifieke voertuigen in de LEV 1c-categorie.

De mate waarin bovenstaande vaardigheden van belang zijn voor berijders van LEV 1c-voertuigen resulteert mogelijk in een langer leerproces voor het veilig berijden/besturen van deze voertuigen vergeleken met de fiets / e-bike of e-step ([10][22][23]). Specifiek in Nederland is het grote verschil met de fiets dat voor het leertraject om te fietsen over het algemeen een lange periode wordt gebruikt en introductie in het verkeer geleidelijk gaat. Kinderen leren fietsen in een veilige omgeving onder begeleiding van ouders/verzorgers en worden zo stapsgewijs aan steeds moeilijkere situaties blootgesteld. In Nederland is er zelfs een landelijk verkeersexamen aan het eind van de basisschool met een praktijkgedeelte dat per fiets wordt gereden. Om een harde uitspraak te kunnen doen over het verschil in leerproces van voertuigen in de LEV 1c-categorie, en die in de categorie LEV 1a of 1b, is de in deze studie gebruikte literatuur onvoldoende en is additioneel onderzoek wenselijk.

Voor het aanleren van vaardigheden zal in de praktijk op plekken geoefend worden waar dit formeel gezien niet mag, zoals lege parkeerplaatsen, sportvelden en stoepen. Mogelijk veroorzaakt dit hinder voor de eigenlijke gebruikers van deze plekken. De hoeveelheid hinder hierdoor wordt echter beperkt ingeschat (en is niet specifiek voor de LEV 1c-voertuigen alleen).

Waar enerzijds een steilere leercurve een risico kan zijn voor voortijdige deelname aan het verkeer (wanneer de bestuurder eigenlijk nog onvoldoende vaardigheden bezit), kan een steile leercurve juist ook een reden zijn voor bestuurders om veel bewuster te kiezen voor een dergelijk voertuig als vervoermiddel (in [5] wordt gesteld dat overmoedigheid bij dit type voertuig minder is dan bij een e-step). Door de steile leercurve wordt niet verwacht dat de LEV 1c-voertuigen snel in deelsystemen gebruikt zullen worden [3][23]. De relatief hoge aanschafkosten van veel van deze voertuigen draagt mogelijk ook bij aan een bewustere keuze voor deze type voertuigen. De aantallen gebruikers van deze voertuigen zijn, ook in landen waar ze al zijn toegestaan, laag (zie belangrijke punten vanuit buitenlandse gemeenten in paragraaf 3.5).

De hoge mate van omgevingsbewustzijn om op andere verkeersdeelnemers te kunnen anticiperen kan een argument zijn om een bepaalde minimumleeftijd te stellen voor het besturen van deze LEV 1c-voertuigen op de openbare weg. In een rapport met betrekking tot e-steps wordt aanbevolen de leeftijdsgrens gelijk te trekken met die voor brommers (16 jaar) [9]. Ook het minimaliseren van afleiding, bijvoorbeeld door het verbieden van smartphone gebruik tijdens het berijden van een LEV 1c-categorie voertuig, kan het risico op conflicten verminderen ((enkelzijdige)ongevallen dan wel valpartijen) [24]. Daarnaast is het opleggen van een alcohol limiet aan te bevelen [10]. Deze laatste twee aspecten (afleiding, alcohol limiet) zijn niet uniek voor deze voertuig categorie, maar ook relevant voor andere verkeersdeelnemers.

Daarnaast is het zinvol om het aanleren van voldoende vaardigheden te stimuleren [5][9][10][23]. Dit kan bijvoorbeeld door instructie via gespecialiseerde dealers bij de verkoop van deze voertuigen, of het aanbieden van (betaalbare) training / cursussen / e-learnings. Het verplicht halen van een vaardigheidsbewijs voor deze voertuigen lijkt gezien de verwachte kleine groep gebruikers en de variabiliteit van benodigde vaardigheden die nodig zijn voor verschillende typen voertuigen (andere manier van besturen, andere risicovolle of niet risicovolle aspecten, etc.) een (te) zware maatregel.

3.2.2 Beschermende uitrusting

Ongevalsdata over LEV 1c-voertuigen is nog nauwelijks beschikbaar. Uit vragenlijst-onderzoek [22] komt naar voren dat ongevallen veelal eenzijdig zijn, en de gevolgen meestal beperkt [22][25]. Valpartijen komen volgens [22] vaker voor bij de elektrische unicycle vergeleken met de Segway en e-step. Persoonlijke beschermingsmiddelen zoals een helm, elleboog- en kniebeschermers bieden bescherming bij dergelijke ongevallen en valpartijen en kunnen daarmee het risico op letsel bij gebruikers beperken. Persoonlijke beschermingsmiddelen worden door verschillende bronnen aanbevolen [3][5][9][22]. Uit een stakeholders analyse onder producenten, verkopers en handelsorganisaties [10] blijkt dat er steun is voor het aanbevelen (niet verplichten) van beschermingsmiddelen, met name het dragen van een helm. De ETSC beveelt een helmplicht bij e-steps aan [9]. Vanuit de Nederlandse gebruikersgroep LegaalRijden wordt aangegeven dat veel van hun leden een helm dragen tijdens gebruik van hun LEV 1c-categorie voertuig. Uit onderzoeken onder (voornamelijk) e-steps blijkt ook dat helmgebruik bij privébezit groter is in vergelijking met deelvervoer [25][26]. Ongevals cijfers of onderzoek om te onderbouwen of beschermingsmiddelen verplicht zouden moeten worden voor deze voertuiggroep specifiek zijn nauwelijks beschikbaar. Enerzijds lijken er bij deze voertuigcategorie meer valpartijen te zijn [22], zij het met geen of minimaal letsel (schaafwonden). Een onderzoek van Xu et.al. [27] suggereert dat bij een aanrijding met een personenauto het hoofdletsel voor een zelf-balancerend voertuig (EUC) niet hoger is dan voor een voetganger of fietser. Zoals ook aangegeven in [3] is meer inzicht nodig in nut en noodzaak van beschermingsmiddelen, bijvoorbeeld ook op het oog met welk type helm aanbevolen (of verplicht) zou moeten worden (gelet op veel voorkomend letsel, valmechanismen, etc.).

3.2.3 Zichtbaarheid

Zoals besproken in paragraaf 3.1.4 is vanwege de geringe afmeting van LEV 1c-voertuigen hun zichtbaarheid, en mogelijkheid tot vergroten van de zichtbaarheid, beperkt. Wanneer weggebruikers niet goed zichtbaar zijn voor andere weggebruikers kunnen deze niet anticiperen op hun aanwezigheid en gedrag, wat kan leiden tot risicovolle situaties. Omdat er op het voertuig beperkt mogelijkheid is tot verbeteren van de zichtbaarheid is het zinvol om hiervoor, meer dan bij bijvoorbeeld de e-bike en in iets mindere mate ook de e-step, te kijken naar de berijder om de zichtbaarheid als geheel te verbeteren.

Het gebruik van reflecterende kleding, reflecterende delen op de helm, of verlichting op het lichaam van de berijder wordt door verschillende bronnen genoemd als mogelijk mitigerende maatregel [3][10][22]. Zoals reeds genoemd in paragraaf 3.1.4 is inzicht nodig in welke maatregelen nodig, dan wel effectief, zijn om de zichtbaarheid van de LEV 1c-voertuigen en hun bestuurders te verbeteren.

Tabel 3 Samenvatting van de risico's en mogelijke mitigerende maatregelen voor de gebruiker.

Aspect	Risico	Mitigerende Maatregel
Vaardigheden	Het besturen van deze voertuigen vereist specifieke vaardigheden	Stimuleer het aanleren van voldoende vaardigheden bv door instructie via de dealer of aanbieden van betaalbare cursussen, e-learning, etc.
Bescherming	Berijder is kwetsbaar	Adviseren van persoonlijke beschermingsmiddelen zoals een helm, elleboog- en kniebeschermers. Onderzoek of/welke beschermingsmiddelen (meest) effectief zijn en mogelijk verplicht zouden moeten worden.

Aspect	Risico	Mitigerende Maatregel
Zichtbaarheid	Beperkte zichtbaarheid/herkenbaarheid van de gebruiker omdat voertuig niet goed zichtbaar is	Adviseren van het gebruik van reflecterende materialen of verlichting op het lichaam en/of helm van de berijder.
Houding	Op sommige van de voertuig typen staat de berijder dwars ten opzicht van de rijrichting, Dit kan de herkenbaarheid negatief beïnvloeden en kan het lastiger zijn oogcontact te maken met andere weggebruikers	Voorlichting aan gebruikers met betrekking tot interactie met ander wegverkeer (bijvoorbeeld door instructie via de dealer of aanbieden van betaalbare cursussen)
Anticipatie	Veilig in het verkeer manoeuvreren is mogelijk complexer dan andere vormen van LEV en vereist mogelijk meer anticipatie	Er is een hoge mate van omgevingsbewustzijn nodig bij de berijders wat het instellen van een minimale leeftijd voor het besturen van deze voertuigen kan rechtvaardigen.

3.3 Relevante veiligheidsaspecten met betrekking tot de omgeving

Met betrekking tot de omgeving zijn er ook verschillende relevant veiligheidsaspecten te identificeren. Een belangrijke daarvan is de infrastructuur, welke wordt besproken in paragraaf 3.3.1. Vervolgens worden veiligheidsaspecten met betrekking tot andere weggebruikers besproken in paragraaf 3.3.2.. tabel 4 geeft een samenvatting van de relevante risico's en mitigerende maatregelen met betrekking tot de omgeving.

Betreffende de verkeersregels ligt het voor de hand om met het oog op uniformiteit en duidelijkheid naar de gebruiker de LEV 1c-voertuigen onder dezelfde verkeersregels te laten vallen als fietsers (en ze dus gebruik te laten maken van het fietspad, zoals vooropgesteld voor aanvang van deze studie). Ook gezien de maximum toegestane snelheid en het gewicht van de voertuigen (twee aspecten die vaak gebruikt worden in de literatuur voor categorisering [10]) is deze keuze niet vreemd. Het zoveel mogelijk uniform houden van verkeersregels houdt het daarnaast overzichtelijk voor handhavers en andere weggebruikers.

3.3.1 Infrastructuur

Een geschikte infrastructuur wordt in meerdere bronnen genoemd als een voorwaarde voor veilige toepassing van LEV's in het verkeer [5][10][22][25][33]. Hierbij wordt veelal verwezen naar het scheiden van LEV's (en fietsers!) van zwaardere (en snellere) voertuigen op de rijbaan en de langzamere voetgangers op het voetpad. De verwachting is daarmee dat de in grote mate gescheiden fietsinfrastructuur in Nederland zich goed leent voor deze nieuwe voertuigcategorie.

Wielen met een kleinere diameter zijn gevoeliger voor onregelmatigheden in het wegdek [3][10] [12]. Onregelmatigheden in het wegdek wordt vaak genoemd als oorzaak van een val [22][25]. In data over ongevallen met e-steps (waar ten opzichte van de LEV 1c-voertuigen al meer data over beschikbaar is) wordt slecht wegdek regelmatig gerapporteerd [5][9][26]. In Nederland is een aanzienlijk deel van de fietspaden geasfalteerd, wat ook voor de LEV 1c-berijders een prettig type wegdek is [24]. Anders dan fietsen zullen LEV 1c-voertuigen gevoeliger zijn voor beschadigingen in dit wegdek, bijvoorbeeld door wortelopdruk, of losliggende tegels (versimpeld: hoe kleiner de wielen, hoe gevoeliger). Op plekken waar verwacht wordt dat er (veel) gebruik gemaakt gaat worden van LEV 1c-voertuigen is het goed de conditie van het wegdek in de gaten te houden.

Kortweg kan gezegd worden dat datgene dat goed is voor fietsers (vrij liggende fietspaden, zoveel mogelijk aaneengesloten, geen obstakels, goed onderhouden wegdek (asfalt)) over het algemeen ook goed is voor gebruikers van LEV's en ook voor gebruikers van specifiek de LEV 1c-voertuigen .

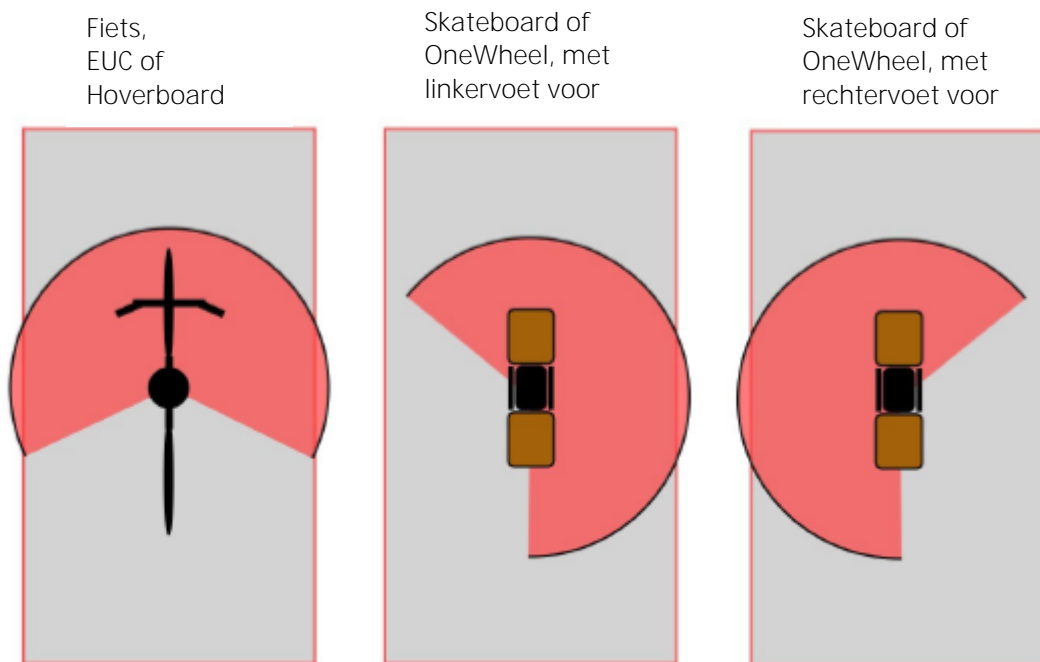
Vanwege de geringe maat van de LEV 1c-voertuigen (helemaal ten opzicht van de voertuigen in LEV categorie 2a/b die waarschijnlijk ook op het fietspad een plek zullen krijgen) is het niet te verwachten dat fietspaden aangepast hoeven te worden voor deze voertuiggroep specifiek. Een ander aspect betreffende de infrastructuur is de aanwezigheid van hellingen. Het kan zinvol zijn om verschillende technische eisen aan het voertuig, zoals minimale remvertraging of maximale acceleratie, ook te testen op een helling. In de PLEV norm EN 171728 [7] of e-bike norm EN 15194 [14] worden geen specifieke eisen op hellingen gesteld.

3.3.2 Andere weggebruikers

De interactie met andere weggebruikers is een potentiële bron van risico's. Voor andere weggebruikers zijn categorie 1c-categorie voertuigen nog grotendeels onbekend, en omdat de voertuigen zelf door hun formaat ook niet onder alle omstandigheden goed zichtbaar zullen zijn, zal het voor andere weggebruikers niet altijd in één oogopslag duidelijk zijn of ze te maken hebben met een voetganger of een voertuig met berijder. Het risico is dan ook dat andere verkeersgebruikers de (potentiële) snelheid, maar ook het remvermogen volledig verkeerd inschatten. Dit kan met voorlichting/campagnes deels worden ondervangen, maar uiteindelijk zullen verkeersdeelnemers er door ervaring mee vertrouwd moeten raken, net zoals ze dat al hebben moeten doen (en nog deels aan het doen zijn) met e-bikes en speedpedelecs. Zoals ook al in paragraaf 3.2 aangehaald, heeft het gedrag van de berijders van de LEV 1c-voertuigen hier ook zeker een rol in.

Wat voor andere verkeersgebruikers ook lastig kan zijn, is het feit dat de oriëntatie van het lichaam van de berijder van een LEV 1c-categorie voertuig niet per se een goede indicatie hoeft te zijn van de te verwachten rijrichting. Zo staan berijders van een Electric Unicycle (EUC) en een Hoverboard bijvoorbeeld net als een voetganger met hun gezicht in de bewegingsrichting, maar staan berijders van een elektrisch skateboard of een OneWheel juist haaks op hun bewegingsrichting – en dan is het ook nog eens zo dat niet alle berijders van zo'n voertuig dezelfde oriëntatie op het voertuig zullen hebben. Het grootste deel van de mensen die op zo'n voertuig rijdt, zal met de linkervoet vooraan op het board staan, zoals bij snowboarden [30]. Op een fietspad wat tussen de weg en de stoep in ligt, zal zo'n berijder dus met zijn rug naar de weg staan. Een kleiner deel van de mensen staat met de rechervoet vooraan op het board en heeft dus de rug naar de stoep toe gekeerd in dezelfde situatie. Ook deze onbekendheid kan door voorlichting en/of campagnes enigszins worden gemitigeerd, maar ook hier geldt dat men hier vooral in de praktijk mee vertrouwd zal moeten raken.

Aansluitend op bovenstaande is er het zichtveld van de berijder van een LEV 1c-categorie voertuig, wat bepalend is voor de mogelijkheden tot oogcontact met andere weggebruikers. Dit zichtveld is namelijk afhankelijk van de oriëntatie van de berijder. De onderstaande afbeelding (figuur 3) geeft een indicatie van de zichtvelden van diverse berijders van een 1c-categorie voertuig en dat van een fietser (of berijder van een e-bike).



Figuur 3 Indicatie van zichtvelden voor bestuurders van verschillende LEV 1c-voertuigen en een fietser (figuur uit [2])

Duidelijk is dat de zichtvelden weliswaar even groot zijn (en dus een vergelijkbare hoeveelheid ‘dode hoek’ opleveren), maar een ander deel van de wereld bestrijken. Ieder van de drie getoonde zichtvelden heeft zijn eigen voor- en nadelen voor het direct zien naderen van ander verkeer, of voor de mogelijkheid tot interactie met andere weggebruikers. Zo is bijvoorbeeld voor mensen die met de linkervoet vooraan op het board staan (middelste situatie in figuur 3), het zichtveld suboptimaal voor het zien van voertuigen die hen inhalen (hun “rugkant”) en oogcontact met de bestuurders daarvan, maar dat zij weer als voordeel hebben dat ze goed straten van rechts in kunnen kijken om daar voertuigen te zien naderen en oogcontact kunnen maken met de bestuurders van die voertuigen. Op rotondes geldt dat zij bijvoorbeeld moeilijker voertuigen kunnen zien die rechtsaf willen slaan (de rotonde verlaten), waar ze zelf rechtdoor willen rijden (op de rotonde blijven). Voor mensen die met de rechervoet vooraan op het board staan (rechter situatie in figuur 3), geldt juist precies het omgekeerde. Bestuurders van een EUC of Hoverboard hebben een symmetrisch blikveld in de richting waarin zij rijden, welke meer vergelijkbaar is met het blikveld van fietsers (linker situatie in figuur 3) en andere weggebruikers. De huidige verkeersinfrastructuur is ingericht op een dergelijke kijkrichting (en bijbehorende dode hoek) wat deze groep gebruikers een voordeel kan geven ten opzichte van de bestuurders die in dwarsrichting op hun voertuig staan.

Mitigerende maatregelen op dit vlak zijn, behalve bewustwording door middel van opleiding en of campagnes, slechts beperkt denkbaar. Een bestuurder zou een spiegeltje om de pols kunnen dragen om achter zich te kunnen kijken, maar wat dit voor de interactie met andere weggebruikers doet is onduidelijk. Oogcontact maken met andere weggebruikers gebeurt veelal rechtstreeks, maar soms ook via de spiegel (bijvoorbeeld in de dode hoek van een vrachtwagen). In dit verband is het interessant te vermelden dat meer en meer auto’s, en vooral vrachtwagens, camera’s krijgen in plaats van buitenspiegels, waardoor het voor andere verkeersdeelnemers onmogelijk wordt om via de spiegels te kunnen zien waar de chauffeur naar kijkt. Deze situatie is overigens niet specifiek voor LEV 1c-voertuigen, maar geldt ook voor andere verkeersdeelnemers.

3.3.3 Weersomstandigheden

Net zoals bij andere voertuigen is het weer een externe factor die risico's met zich mee kan brengen. Hierbij zijn grip en tractie op nat, opgevroren of besneeuwd wegdek zaken die voor een categorie 1c-voertuig niet significant anders zullen zijn dan voor een categorie 1a- of 1b-voertuig; het type wiel of band dat gemonteerd is zal in hoge mate bepalen hoe veel tractie en grip voorhanden zijn. Het risico zou dus gemitigeerd kunnen worden door minimale grip- en tractie-eisen aan wielen en banden te stellen. Hiervoor hebben wij in de literatuur geen richtwaardes gevonden, alhoewel EN17128 wel specifiek remtesten op natte ondergrond benoemt, zonder hier vervolgens een minimumwaarde voor de remvertraging aan te koppelen. De enige remvertraging die genoemd wordt is de al eerder aangehaalde 1,7 m/s². Voor categorie 1c-voertuigen met een zelf-balancerende functie zal het bij (extreme) gladheid wellicht moeilijk of niet mogelijk zijn om de berijder goed te balanceren. In hoeverre dit een reëel risico is, is niet duidelijk, omdat dit verschijnsel misschien pas optreedt als de omstandigheden zodanig extreem zijn, dat er niet eens voldoende tractie en grip is om überhaupt op een categorie 1c-voertuig te kunnen rijden. Dit zou eventueel nader onderzocht kunnen worden.

Specifiek voor de categorie 1c-voertuigen geldt vaak dat ze niet ontworpen zijn om in natte omstandigheden of in de regen gebruikt te worden en dat fabrikanten dit ook zelf aangeven [28][29]. Het gaat dan met name om de elektrische componenten en systemen, die door de geringe montagehoogte een grotere kans hebben om blootgesteld te worden aan spatwater, of zelfs gedeeltelijk of geheel ondergedompeld te raken als het voertuig door een plas rijdt. Dit zou kunnen leiden tot uitval van componenten, kortsluiting, of ander elektrisch falen. Dit risico wordt in EN17128 ook benoemd, en daarin wordt een vochtbestendigheid (Ingress Protection) van klasse IPX4 (beschermd tegen spatwater) voorgesteld als mitigerende maatregel, en verder verwezen naar EN60335-1:2012, paragraaf 15.1 [30], voor de bijbehorende testmethode. Een additionele mitigerende maatregel wordt door veel fabrikanten in de praktijk al genomen, namelijk voorlichting aan de klant met betrekking tot de omstandigheden waarin het voertuig wel en niet gebruikt kan worden. Het zou een goede maatregel kunnen zijn om deze informatie verplicht in de handleiding op te laten nemen en verkopers te verplichten hier ook op te wijzen bij verkoop.

Weersomstandigheden zoals een harde wind of windvlagen is voor de gebruikers van LEV's zonder stuur mogelijk een relevanter risico dan voor de LEV 1a- en 1b-categorie, omdat een balansverstoring eerder kan zorgen voor een verandering van richting/snelheid van een door balans gestuurd voertuig. Er is ons geen onderzoek bekend om te onderbouwen of / in welke mate dit risico inderdaad groter is voor LEV 1c-voertuigen dan voor de voertuigen in categorie 1a/1b.

Tabel 4 Samenvatting van de risico's en mogelijke mitigerende maatregelen voor de omgeving.

Aspect	Risico	Mitigerende Maatregel
Verkeersregels	Onduidelijkheid voor gebruikers (en handhavers) welke verkeersregels gevolgd moeten worden	Verkeersregels voor LEV 1c-categorie gelijk stellen aan die voor fietsers
Infrastructuur	Wielen met een kleine diameter zijn gevoelig voor onregelmatigheden in het wegdek	Conditie van het wegdek in de gaten houden op plekken waar (veel) gebruik van LEV 1c-voertuigen verwacht wordt.

Aspect	Risico	Mitigerende Maatregel
Andere weggebruikers	Door onbekendheid kunnen andere verkeersgebruikers het gedrag van dit voertuig (o.a. de (potentiële) snelheid en het remvermogen) verkeerd inschatten	Bewustwording creëren bij andere weggebruikers over het bestaan, en gedrag, van deze type voertuigen (bijvoorbeeld middels campagne, of includeren in (theorie) rijexamens)
		Bewustwording creëren bij berijders van LEV 1c-voertuigen dat zij mogelijk minder voorspelbaar zijn voor andere weggebruikers
		Uiteindelijk zullen verkeersdeelnemers er door ervaring mee vertrouwd moeten raken, net zoals ze dat al hebben moeten doen (en nog deels aan het doen zijn) met e-bikes en speed pedelecs. Doordat de verwachting is dat de aantallen LEV 1c-voertuigen, zeker de komende tijd, mogelijk beperkt zullen zijn, kan dit proces langer duren dan bij de e-bike / speed-pedelec (en e-step)
	De oriëntatie van het lichaam van de berijder is niet per se een goede indicatie van de te verwachten rijrichting	Bewustwording creëren bij berijders van LEV 1c-voertuigen dat zij mogelijk minder voorspelbaar zijn voor andere weggebruikers
	Zichtveld van voertuigen waarop berijder in dwarsrichting staat is afwijkend van andere verkeersdeelnemers	Bewustwording creëren bij berijders van LEV 1c-voertuigen andere verkeersdeelnemers en mogelijk het dragen van een spiegel om de pols adviseren.
Weersomstandigheden	Verminderde controleerbaarheid van het voertuig door verminderde tractie en grip	Eisen stellen aan de minimale grip/en of tractie
	Binnendringing van vocht/water in de elektrische of elektronische componenten	Minimale eis stellen aan de vochtbestendigheid; in de handleiding van het voertuig opnemen voor welke omstandigheden het niet geschikt is

3.4 Overige relevante veiligheidsaspecten

Tenslotte zijn er nog enkele andere relevante veiligheidsaspecten die niet perse in één van de eerder genoemde onderwerpen vallen.

Eén van deze aspecten is dat er een verschil kan zijn in de veiligheid van een gehuurd voertuig en een voertuig in particulier bezit. Voor een voertuig in een deelsysteem zullen mogelijk voor kwalitatief robuustere exemplaren gekozen worden en zal daardoor minder vaak mankementen gaan vertonen die een verkeersveiligheidsrisico met zich mee kunnen brengen. In het Verenigd Koninkrijk (VK) is ervoor gekozen om deel e-steps toe te staan (in een pilot), maar e-steps in eigen bezit niet, omdat verwacht wordt dat e-steps in deelmobiliteit beter van kwaliteit zullen zijn en kunnen worden verzekerd [32]. Aan de andere kant zal een persoon met een LEV in eigen bezit meer geoefend zijn met het eigen voertuig, omdat er meer tijd

genomen kan worden om te oefenen alvorens zich in (druk) verkeer te begeven. Ook zal men wellicht wat netter omgaan met een LEV in eigen bezit [33].

Een risico specifiek voor deelvervoer is dat de kosten voor de gebruiker veelal verrekend wordt per tijd (en niet per afstand) wat gebruikers er mogelijk (onbewust) toe kan zetten om sneller te gaan rijden. Een mitigerende maatregel hiervoor zou kunnen zijn om betaalstrategie die onveilig gebruik in de hand werken te ontmoedigen [5].

Het te huur aanbieden van LEV's gebeurt in veel Europese landen al regelmatig, echter dit zijn vrijwel altijd e-steps. Er zijn ons nog geen landen of steden bekend waar LEV's zonder stuur op straat gehuurd kunnen worden.

Een ander relevant veiligheidsaspect is dat het gebruik van deze voertuigen kan leiden tot een modal shift vanuit meer of minder veilige vervoersmiddelen. Voorbeelden zijn autogebruikers, fietsers of voetgangers die overstappen op deze LEV's, maar ook gebruikers van het openbaar vervoer die ervoor kiezen om dit soort LEV's te gebruiken. Deze modal shift kan een effect hebben op de totale verkeersveiligheid in termen van toenemende of afnemende risico's en het aantal ongevallen, maar omdat er op dit moment geen gegevens beschikbaar zijn van de exacte risico's van LEV's zonder stuur, kan er nog geen kwantitatieve analyse worden gedaan op het verkeersveiligheidseffect van een modal shift naar LEV's zonder stuur. figuur 4 illustreert de risiconiveaus van verschillende modaliteiten en de nog onbekende positionering van LEV's zonder stuur, wat impliceert dat een adoptie van deze voertuigen door gebruikers van de "linkse" voertuigen, kan leiden tot meer positieve effecten in termen van veiligheid, maar wanneer deze voertuigen worden gebruikt in plaats van de voertuigen aan de rechterkant, kunnen de effecten in feite negatief zijn.



Figuur 4 Risiconiveaus van verschillende modaliteiten volgens [5][23]

Doordat er nog geen risicocijfers voor LEV's zonder stuur beschikbaar zijn, kan een dergelijke kwantitatieve inschatting nog niet goed gemaakt worden. Wel kan met behulp van verkeersmodellen en keuzemodellen een schatting gemaakt worden van de verschuiving naar andere modaliteiten.

Tabel 5 Samenvatting van overige risico's en bijbehorende mogelijke mitigerende maatregelen

Aspect	Risico	Mitigerende Maatregel
Gehuurd vs. eigen voertuig	Gebruiker is mogelijk minder ervaren op een huur voertuig	Een helmplicht (indien nog niet aanwezig) kan worden opgelegd door het verhuurbedrijf en instructies dienen voor gebruik te worden gegeven
	Voertuig in privé eigendom is mogelijk minder robuust.	-
	Vergeleken met deelvoertuigen is er mogelijk een groter risico dat voertuigen in privé bezit niet aan alle technische eisen voldoen	Toezicht op naleving van de richtlijnen

Aspect	Risico	Mitigerende Maatregel
Verschuiving in gebruik van vervoersmodaliteit	Verplaatsing werd voorheen mogelijk op andere manier gedaan (bv met de auto, fiets of te voet), hetgeen effect heeft op de totale verkeersveiligheid.	Onderzoek nodig om effect van modal shift te bepalen. Met behulp van verkeersmodellen en keuzemodellen kan een schatting gemaakt worden van de verschuiving naar andere modaliteiten en daarmee de mogelijke impact op verkeersveiligheid.

3.5 Inzichten uit de vragenlijst en interviews

Zoals beschreven in paragraaf 1.2.2 heeft TNO een vragenlijst uitgezet onder buitenlandse gemeenten en andere betrokken bij deze voertuigen in het buitenland. De volledige vragenlijst staat in bijlage a - de vragenlijst. Daarnaast zijn een aantal interviews gehouden met POLIS, FPMM, TFL en Traficom.

Hieronder zijn de inzichten weergegeven uit de kernvragen met betrekking tot het gebruik, de regelgeving en de mitigerende maatregelen van lichte elektrische voertuigen zonder stuur, zoals die door de verschillende partijen zijn beantwoord in de vragenlijst. Een samenvatting van de antwoorden staat in tabel 6.

Tabel 6 Samenvatting van ingevulde vragenlijsten.

Land (plaats, indien van toepassing)	Plaats op de weg			Wettelijke regels/eisen
	Fietspad	Stoep	Straat	
Finland	Bij een maximale snelheid van het voertuig van 15 km/u is het gebruik van zowel fietspaden als voetpaden toegestaan. Als de snelheid tussen de 16 en 25 km/u ligt, dan moet het fietspad gebruikt worden (of de straat wanneer geen fietspad aanwezig is).			Voorlicht, reflector aan de achterzijde (moet in het donker en in de schemering worden gebruikt, beide mogen door de bestuurder worden gedragen), geluidssignaalinrichting.
Frankrijk	<input checked="" type="checkbox"/>	Indien toegestaan door de lokale autoriteiten (anders €135 euro boete)	<input checked="" type="checkbox"/>	Minimumleeftijd (12 jaar), verzekering, snelheidslimiet, advies over het dragen van reflecterende kleding, verlichting in het voertuig, remsysteem en geluidssignaalvoorziening.
Griekenland (Trikala)	<input checked="" type="checkbox"/>	Behalve elektrisch skateboard	<input checked="" type="checkbox"/>	Snelheidslimiet, minimumleeftijd en helm (behalve voor de OneWheel).
Portugal (Lissabon)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	-

Zweden (Göteborg)	<input checked="" type="checkbox"/>	Behalve MonoWheel	<input checked="" type="checkbox"/>	Helm vereiste.
----------------------	-------------------------------------	-------------------	-------------------------------------	----------------

De belangrijkste punten uit de buitenlandse interviews zijn:

- Het aantal LEV's zonder stuur is nog erg laag, ook in de landen waar ze op de openbare weg zijn gelegaliseerd.
- Duidelijke regelgeving specifiek voor dit soort voertuigen ontbreekt – meestal wordt dezelfde regelgeving gehanteerd als voor e-scooters.
- POLIS vindt dat er vier niveaus van regelgeving zouden moeten komen: betreffende het voertuig, het gebruik, de exploitatie van het voertuig, én de wijze waarop deze nieuwe voertuigen worden geïntegreerd in het huidige transportsysteem samen met andere mobiliteitsopties.
- De huidige regelgeving richt zich op het voertuig- en gebruikersniveau, terwijl de integratie van dit type voertuigen met het huidige transportsysteem en andere mobiliteitsmogelijkheden grotendeels wordt genegeerd.
- Gegevens over ongevallen met deze voertuigen ontbreken of worden (onder)gerapporteerd onder een andere voertuigcategorie.
- Enkele buitenlandse gemeenten geven aan dat gemotoriseerd verkeer de belangrijkste risicobron is in het verkeer. Vanwege het lage aantal en gebruik van LEV's zonder stuur, en bijbehorende lage ongevals cijfers, is beleid voor deze specifieke groep voertuigen soms beperkt.
- Sommige regelgevingen kunnen averechts werken (bijvoorbeeld voertuigen die op de stoep worden gebruikt, terwijl ze voor asfalt zijn ontworpen).
- Elektrische motoren zijn gemakkelijk te fabriceren en te onderhouden. Er zullen er binnenkort veel meer van komen en dat is waarschijnlijk niet tegen te houden. Het is belangrijk dat we dat in gedachten houden bij de regulering van deze voertuigen.
- Het gebruik van LEV's in particulier bezit versus gehuurde LEV's kan ook verschillende veiligheidsimplicaties hebben. LEV's die verhuurd worden zijn doorgaans kwalitatief beter en robuuster.
- De menselijke factor is de dominante risicofactor (boven bijvoorbeeld de infrastructuur).
- Volgens FPMM hebben MonoWheels 2-3 keer meer ongelukken dan e-scooters.
- Ongeluk met een elektrische eenwieler waarvan de accu vlam vatte in een metrostation in het VK heeft ervoor gezorgd dat deze nu verboden zijn in de metro.

De Fédération des Professionnels Micro-Mobilité (FPMM) heeft een grootschalig onderzoek gedaan naar alle vormen van micromobiliteit, waaronder ook de LEV's zonder stuurwiel [25]. Dit is het meest uitgebreide onderzoek met kwantitatieve resultaten, waaronder gebruiks- en verkeersveiligheids cijfers welke in dit onderzoek is gevonden.

De belangrijkste punten uit het interview met LegaalRijden zijn:

- Met een OneWheel / MonoWheel ben je minder geneigd om harder te gaan dan je zelf aankunt (overmoedig worden), omdat je de snelheid moet maken met je eigen lichaamshouding, niet alleen door het overhalen van een gashendel zoals bijvoorbeeld bij een bromscooter.
- LegaalRijden geeft aan dat ze een verschil zien in gebruik van huur LEVs (momenteel voornamelijk e-steps) en eigenaren van LEVs zelf ("owned"). Deze laatste groep lijkt bewuster met de LEV als vervoermiddel om te gaan.
- De grotere wielen (van MonoWheel en OneWheel) bieden meer stabiliteit t.o.v. de kleine wielen van een e-step.

- Begrenzing op vermogen zoals in de huidige regelgeving (max 250W motorvermogen) is niet realistisch voor zelf-balancerende LEV's zoals de OneWheel (750W motor) of EUC (MonoWheel). Deze hebben namelijk een aanzienlijk deel van hun vermogen nodig om het voertuig met de bestuurder te balanceren in verschillende omstandigheden (ook heuvel op/af).
- Het is belangrijk om “ondeugdelijke” LEV's (“Speelgoed”) te weren uit het verkeer (zoals bijvoorbeeld het Hoverboard). Richtlijnen / technische eisen zouden dusdanig opgesteld moeten zijn dat deze onveilige varianten ze niet halen, maar de deugdelijke zelf-balancerende LEV's wel.

De belangrijkste punten uit het interview met LEVA zijn:

- LEVA behartigt de belangen van de gehele L categorie zoals beschreven in EU 168:2013 [14], inclusief de (S)EPAC / LEV's uitgesloten van deze verordening
- Additionele eisen voor LEV'S verschillen nog erg tussen landen (om die reden ook de roep om harmonisatie bij de LEVA)
- België stelt enkele extra eisen zoals de maximaal toegestane snelheid (25 km/u), geen helmplicht, geen voertuig specifieke verzekering
- Er zijn werkgroepen actief voor het opstellen van Europese regels omtrent LEV's. In de werkgroep TC125 wordt momenteel gewerkt aan een horizontaal kader waarbinnen gepoogd wordt huidige en mogelijk nieuwe vormen van LEV te omvatten (dus eisen gebaseerd op prestaties, functionele veiligheid, i.c.m. meetbare procedures).

4 Restrisico's

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de restrisico's welke niet (volledig) af te vangen zijn door de mitigerende maatregelen uit het vorige hoofdstuk. Wederom zijn deze onderverdeeld in restrisico met betrekking tot de voertuigen, de gebruiker en de omgeving.

4.1 Restrisico's met betrekking tot de voertuigen

Met betrekking tot het voertuig kunnen veel van de risico's ondervangen of beperkt worden door passende regelgeving, en handhaving hierop.

Het motorvermogen bij de zelf-balancerende LEV's kan zoals beschreven in paragraaf 3.1.1 niet te sterk beperkt worden omdat deze nodig is voor de balanceerfunctie van het voertuig. Het restrisico wat hierdoor bij deze voertuigen overblijft, is moedwillige omzeiling van soft- en/of hardware matige beveiligingen door de eindgebruiker, waardoor het motorvermogen voor hogere snelheden en/of acceleraties gebruikt kan worden dan in de richtlijnen beschreven. Hoe dit risico zich verhoudt tot andere voertuigen waar zulke beveiligingen zijn geïmplementeerd, is niet bekend. Verwacht wordt dat dit risico niet volledig is te voorkomen (tevens genoemd in [10]).

Wat betreft het remsysteem, dat technisch fundamenteel anders is dan de remsystemen van meer conventionele voertuigen, is de voornaamste mitigerende maatregel om te eisen dat er sprake moet zijn van een secundair remsysteem dat gecontroleerd afremmen mogelijk maakt als de regeneratieve remfunctie het zou laten afweten. Het restrisico is dat het de remprestatie van deze voertuigen in meer of mindere mate afhankelijk blijft van de vaardigheden van de berijder.

Voor de zelf-balancerende voertuigen in de LEV 1c-categorie (zoals EUC of OneWheel) wordt een deel van het motorvermogen gebruikt voor de zelf-stabilisatiefunctie. Wanneer de motor uitvalt zal deze stabilisatiefunctie wegvallen, waardoor het voertuig niet meer te balanceren is. Waarschuwen van de bestuurder en voorkomen dat het wiel (de wielen) volledig blokkeert (blokkeren), zullen een val mogelijk niet helpen voorkomen. Additionele technische eisen zoals een redundant motorsysteem, of een eis aan hoe vaak een dergelijk incident maximaal voor mag komen, zijn niet vanzelfsprekend, gelet op implementatie (dubbele motor in een klein voertuig), of testbaarheid (bepalen van de kans op een dergelijk incident).

De zichtbaarheid van het voertuig zelf kan door zijn geringe formaat en lage positionering maar beperkt beïnvloed worden. Voor verdere verbetering van de zichtbaarheid (indien nodig) moet gekeken worden naar de berijder.

Om het voertuig zo stabiel mogelijk te maken, dienen de wielen (of het wiel) bepaalde minimale afmetingen te hebben. EN17128 geeft hier waardes voor, die bestudeerd zouden moeten worden en dan al of niet overgenomen. Het restrisico is dat de stabiliteit van (de berijder op) de LEV 1c-voertuigen altijd in meer of mindere mate afhankelijk blijft van de vaardigheden van de berijder.

4.2 Restrisico's met betrekking tot de gebruiker

Met betrekking tot de gebruiker zijn de volgende resterende risico's geïdentificeerd.

De stabiliteit en wendbaarheid van de LEV 1c-voertuigen is door hun complexere aansturing en ontbreken van (zadel en) stuur in grotere mate afhankelijk van de vaardigheid van de berijder, vergeleken met de LEV's uit categorie 1a of 1b.

Daaraan gerelateerd is de risicobijdrage van een LEV 1c-voertuig in het verkeer, vergeleken met de LEV's uit categorie 1a of 1b, in sterkere mate afhankelijk van het (niet) juist inschatten van de berijder van zijn eigen vaardigheden en het verstandig daarmee omgaan.

Ten slotte blijft het gebruik van beschermende uitrusting grotendeels een persoonlijke keuze. Dit resterende risico is ook bij andere voertuigen aanwezig, maar in het geval van LEV's zonder stuur zijn de risico's door vallen mogelijk extra relevant gezien het hogere aantal valpartijen, zij het met minimaal of geen letsel (risico = kans x effect). Ook het volgen van een cursus of training om vaardigheden op te doen (voertuigbeheersing, veilige deelname aan het verkeer) is een keus van de gebruiker. Zowel dragen van beschermende kleding als opdoen van voldoende vaardigheden is iets dat gestimuleerd kan worden maar niet volledig afgedwongen.

4.3 Restriscio's met betrekking tot de omgeving

De restriscio's met betrekking tot de omgeving kunnen als volgt worden samengevat:

Vanwege de mogelijk mindere herkenbaarheid / voorspelbaarheid van de LEV 1c-voertuigen (relatief verschillend ontwerp in vergelijking met reeds bekende voertuigen zoals fietsen, motorfietsen of auto's) is de interactie met andere weggebruikers een relevant restriscio. Met name de interactie met zwaarder verkeer kan een mogelijk groter risico zijn voor de gebruikers van deze voertuigen. Verder is nog onbekend hoe de integratie met de andere gebruikers van de fietsinfrastructuur zal verlopen.

Kenmerken van de infrastructuur kunnen ook bijdragen aan het verkeersveiligheidsrisico van de LEV 1c-voertuigen. Vergelijkbaar als voor andere gebruikers van de fietsinfrastructuur zijn vrij liggende fietspaden, zoveel mogelijk aaneengesloten, zo min mogelijk obstakels en een goed onderhouden wegdek (asfalt) gunstig voor de LEV 1c-voertuigen. In vergelijking met de categorie 1a, zijn met name LEV's met een kleine wieldiameter (zowel in categorie 1b als 1c) gevoeliger voor oneffenheden in het wegdek.

Tenslotte is het belangrijk hier te wijzen op de relevantie van de weersomstandigheden voor LEV's zonder stuurwiel. Natte en/of gladde wegen kunnen, net als bij de voertuigen in de LEV 1a en 1b categorie, zorgen voor wegglijden of verminderde remcapaciteit. Door fabrikanten van sommige LEV 1c-voertuigen wordt gebruik in natte omstandigheden afgeraden [28][29]. Weersomstandigheden zoals een harde wind of windvlagen is voor de gebruikers van LEV's zonder stuur mogelijk een relevanter risico dan voor de LEV 1a en 1b categorie, omdat een balansverstoring eerder kan zorgen voor een verandering van richting/snelheid.

4.4 Andere restriscio's

Er zijn nog enkele andere resterende risico's die moeilijker te classificeren zijn. De volgende omstandigheden kunnen eveneens als risico worden aangemerkt:

De huidige verscheidenheid aan wetten en voorschriften, of het ontbreken van een juiste classificatie voor LEV's zonder stuur, maken het ingewikkeld voor zowel producenten als gebruikers (en handhavers) om te weten wat er wel en niet mag. Een uniform en duidelijk kader is voor de toelating en regulering van deze voertuigen op nationaal en lokaal niveau van belang. Daar komt bij dat, ook al zijn er bepaalde richtlijnen voor het voertuig en de gebruiker, en aanbevelingen op het gebied van veiligheid, het nog onbekend is wat het effect daarvan is op de verkeersveiligheid vanwege de te lage statistieken.

5 Discussie en conclusies

5.1 Discussie

In dit rapport is een overzicht gegeven van veiligheidsaspecten, risico's en mitigerende maatregelen van lichte elektrische voertuigen zonder stuur (LEV categorie 1c). Deze voertuigen worden nog niet veel gebruikt, ook niet in landen waar ze al wel toegestaan zijn op de openbare weg, waardoor ze niet vaak in het straatbeeld te zien zijn en er bijna geen ongevalsgegevens over beschikbaar zijn. Er is gesproken met verschillende stakeholders van de LEV 1c-voertuigen, waaronder de Nederlandse gebruikersgroep LegaalRijden, de Europese handelsvereniging voor Licht Elektrische Voertuigen, LEVA, POLIS (EU netwerk) en andere vervoersorganisaties (zoals Traficom, FPMM, TfL). De aanpak van een combinatie van literatuuronderzoek, communicatie met externe partijen en kwalitatieve analyse van veiligheidsaspecten is hierdoor een goede manier om toch zoveel mogelijk inzichten te verkrijgen. Communicatie met externe partners is waardevol gebleken voor een beter begrip van verschillende kenmerken van deze voertuigen en voorwaarden om ze toe te laten.

Doordat er nog maar zeer beperkt informatie over deze LEV 1c-voertuigen beschikbaar is (o.a. door beperkt gebruik van de voertuigen en beperkte monitoring van deze groep specifiek), is het niet mogelijk om kwantitatieve, volledig onderbouwde uitspraken te doen over welke risico's significant zijn, en wat het precieze effect van de voorgestelde mitigerende maatregelen zal zijn op de verkeersveiligheid. De genoemde mitigerende maatregelen moeten dus gezien worden als advies, niet als feit. Daarnaast is de uiteenzetting van risico's en mitigerende maatregelen in dit rapport gebaseerd op de informatie verkregen uit de interviews, gevonden literatuur en kennis/ervaring van de betrokken onderzoekers, en is bedoeld om mogelijk relevante veiligheidsaspecten van deze LEV 1c voertuigcategorie te belichten. Het doel is niet om een onuitputtelijk overzicht op te leveren. Dit rapport moet dus ook met die insteek gelezen.

5.2 Conclusies

Uit dit onderzoek kunnen verschillende conclusies worden getrokken met betrekking tot mogelijke (rest)risico's voor de verkeersveiligheid bij toelating van deze licht elektrische voertuigen zonder stuur (LEV categorie 1c). Daarnaast zijn er conclusies te trekken over de mogelijke toelating van deze voertuigen.

Hierbij moet vermeld worden dat er in verband met de beperkte beschikbaarheid van data en onderzoek over deze LEV's zonder deze conclusies met enige voorzichtigheid getrokken moeten worden.

5.2.1 Conclusies met betrekking tot (rest)risico's van de voertuigcategorie

De veiligheid van LEV's zonder stuur wordt beïnvloed door een combinatie van factoren, welke in dit onderzoek zijn onderverdeeld in het voertuig, de omgeving en de gebruiker.

Daarvan lijkt de gebruiker, wellicht nog meer dan bij andere voertuigcategorieën, een significante bijdrage te leveren aan dit risico. Dit wordt mede veroorzaakt doordat het gedrag

van dit type voertuig, in verhouding met andere voertuigcategorieën, sterker af lijkt te hangen van de vaardigheden van de berijder. Er zijn indicaties dat het leertraject voor deze categorie voertuigen langer is, wat zowel een negatieve impact op de veiligheid kan hebben (gebruikers nemen al deel aan het verkeer voordat ze voldoende vaardigheid zijn), maar ook een positief effect doordat de steile leercurve gebruikers bewuster laat kiezen voor dit voertuig en zich bewuster gedragen in het verkeer. Daarnaast kan moeilijker voorspeld worden hoeveel effect de mitigerende maatregelen met betrekking tot de gebruiker hebben, aangezien je voor een deel van deze maatregelen afhankelijk bent van of/hoeveel de gebruiker ermee doet (met name de niet-verplichte mitigerende maatregelen, zoals die ten behoeve van stimuleren veilig gedrag).

Ook de omgeving speelt een belangrijke rol in een veilige toelating van de LEV 1c-voertuigen. Voor sommige aspecten met betrekking tot de omgeving is het risico niet significant anders dan voor de LEV categorieën 1a/1b, zoals de infrastructuur. Voor zowel voor e-bikes, e-steps en de LEV's zonder stuur is een infrastructuur zoveel mogelijk gescheiden van zwaardere (en snellere) voertuigen wenselijk, alsook een wegdek met zo min mogelijk oneffenheden en obstakels. Daarbij is het goed te vermelden dat met name voertuigen met kleinere wielen gevoeliger zijn voor oneffenheden. De afhankelijkheid van weersomstandigheden is voor LEV 1c-voertuigen mogelijk anders dan voor de voertuigen uit categorieën 1a en 1b. Zo zijn veel LEV 1c-voertuig gevoeliger voor gebruik in zeer natte omstandigheden en wordt dit ook afgeraden door de fabrikant. Daarnaast heeft onstuimig weer (harde wind, windvlagen) mogelijk een groter effect op de besturing van de LEV 1c-voertuigen ten opzichte van de voertuigen in categorie 1a en 1b. Er is echter geen onderzoek/data beschikbaar om deze risico's te kwantificeren en te weten of er daadwerkelijk een (significant) verschil is tussen de LEV categorieën.

Een aspect met betrekking tot de omgeving welke vermoedelijk anders is voor de LEV 1c-voertuigen ten opzichte van de voertuigen in categorie 1a en 1b is de interactie met andere verkeersdeelnemers. De onbekendheid van de voertuigen, en daarmee samenhangend de onvoorspelbaarheid, maakt dat deze voertuigen *per voertuig* mogelijk een groter risico introduceren dan de 1a/1b categorie. Daarnaast kan de interactie met andere verkeersdeelnemers gecompliceerder zijn, door bijvoorbeeld een afwijkende houding, en het effect van interactie (bijv. omkijken) op de vetergang van het balansgestuurde LEV voertuig.

Betreffende het voertuig lijkt een groot deel van de risico's ondervangen te kunnen worden in technische richtlijnen of normen, welke gebruikt kunnen worden in testen en/of (zelf-) certificering. De EN17128 [8] geeft hiervoor goede handvatten, waarop in dit rapport enkele suggesties voor aanvullingen of aanpassingen worden gedaan. De voornaamste restrisico's met betrekking tot het LEV 1c-categorie voertuig zijn de mogelijk beperkte zichtbaarheid van het voertuig met berijder (en beperkte mogelijkheid tot verbeteren van die zichtbaarheid) en het risico op uitvallen van de zelf-balancerende functie. Om te bepalen hoe groot deze risico's zijn, en wat de best mogelijke mitigerende maatregelen zijn, is additioneel onderzoek nodig. Daarnaast is de verwachting dat het risico op opvoeren van de voertuigen (veranderen van de rijeigenschappen, zoals versnelling en maximale snelheid) niet volledig is uit te sluiten.

figuur 5 laat de bijdrage van de drie hoofdaspecten aan de restrisico's zien, waarbij schematisch is aangegeven dat de grootste bijdrage aan het restrisico van deze LEV 1c-voertuigen bij de gebruiker licht, in mindere mate bij de infrastructuur, en in nog mindere mate bij het voertuig zelf (mits mitigerende maatregelen zijn geïmplementeerd).



Figuur 5 Bijdrage aan het restrisico van LEV 1c-voertuigen

5.2.2 Conclusies met betrekking tot de toelating

Gezien het lage aantal LEV 1c-voertuigen dat momenteel in Europese landen rijdt waar deze voertuigen al zijn toegestaan, kan worden verwacht dat ook bij toelating in Nederland de aantallen beperkt zullen zijn. Over het algemeen maken de voertuigen die in dit rapport worden besproken deel uit van een specifieke gebruikersgroep waarbij deze voertuigen gebruikt worden als hobby of sport, en doorgaans minder voor regulier woon-werk verkeer [25]. Bovendien worden deze voertuigen niet geschikt geacht voor gedeelde mobiliteit (in tegenstelling tot e-steps of Segways). Al deze aspecten wijzen erop dat vooral privégebruik op kleine schaal wordt verwacht.

Goed om in ogenschouw te nemen is dat het gebruik van LEV 1c-voertuigen kan leiden tot een modal shift. De wijze waarop deze modal shift plaatsvindt kan zowel een positief als negatief effect hebben op de uiteindelijk verkeersveiligheid.

Hoewel het risico (op valpartijen, (enkelzijdige) ongevallen) van het voertuig (in paragraaf 5.2.1 samengevat) *per voertuig* mogelijk wat groter kan zijn dan bij de voertuigen in de LEV 1a/1b categorie, is de verwachting dat dit daarom niet perse hoeft te leiden tot een grote toename van het totale risico op onveilige situaties in het verkeer.

De technische veiligheid van de voertuigen kan worden afgedekt door bestaande richtlijnen en normen, eventueel met aanvullingen, en (zelf-)certificering/testen. Regelgeving richting de gebruiker (en de omgeving) is echter nog niet in deze normen opgenomen en zou ofwel in de regelgeving (zoals minimumleeftijd of alcoholimiet) of als aanbeveling (zoals helmgebruik) moeten worden vastgelegd. Toezicht op naleving van richtlijnen en handhaving is zeer van belang om welke richtlijn dan ook effect te laten hebben.

Wat de infrastructuur betreft, maken de Nederlandse fietscultuur en de wijdverspreide speciale infrastructuur voor fietsers de geschiktheid voor het gebruik van deze voertuigen goed in vergelijking met andere EU-landen.

Een belangrijke opmerking over regulering is dat overregulering ontmoedigend kan werken voor de gebruiker en producenten. Verplichte licenties, verzekeringen en gebruikers-/voertuigregistratie zijn voorbeelden van maatregelen die de introductie en ontwikkeling van LEVs (niet specifiek degen zonder stuur) zouden kunnen beperken volgens [5][10][33]. Dit kan een transitie naar deze relatief schone vervoersmodaliteit belemmeren [34].

Bovendien verdient het aanbeveling om bij de ontwikkelingen van richtlijnen voor de LEV 1c-voertuigen de Europese ontwikkelingen niet uit het oog te verliezen (bijvoorbeeld in de CEN TC 125 werkgroepen). Uniformiteit in regelgeving wordt als wenselijk ervaren voor zowel gebruikers (LegaalRijden) als producenten (LEVA, [10]).

De LEV 1c-voertuigen zijn maar zeer beperkt vertegenwoordigd in onderzoeken en ongevalsanalyses. Dit zal mede te maken hebben met het geringe aantal LEV 1c-voertuigen die momenteel worden gebruikt. Daarnaast wordt er in ongevalscijfers meestal geen onderscheid gemaakt voor deze specifieke voertuigcategorie. Nader onderzoek wordt aanbevolen, niet alleen naar het aantal ongevallen/incidenten en de oorzaken daarvan, maar bijvoorbeeld ook naar het gebruik van deze voertuigen en modal shift, de voertuigprestaties, benodigde extra/andere vaardigheden van bestuurders van deze voertuigen en de interactie van deze voertuigen met ander verkeer. Dergelijk onderzoek is nodig om goed te onderbouwen of/welke maatregelen nodig en effectief zijn voor een veilig gebruik van LEV's zonder stuur in het verkeer. Het monitoren van deze voertuigcategorie na toelating kan hier een bijdrage aan leveren.

6 Referenties

- [1] Kamerstuk 29 398 nr 954, 13 juli 2021
- [2] Louwerse, K., Jong, M. de, Taal, H., Nägele, R., Schepers, P. (2022): Achtergrondinformatie Expertbijeenkomst LEV1c, Tridée
- [3] Verslag Expertbijeenkomst LEV1c. 21 juni 2022, opgesteld door Tridée 12 september 2022
- [4] TNO rapport R10704 (2020). Ervaringen met licht elektrische voertuigen in Europa.
- [5] OECD/ITF (2019): Safe Micromobility: https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/safe-micromobility_1.pdf
- [6] Kamerbrief 15 april 2022: 'Stand van zaken verkeersveiligheid', IENW/BSK-2022/46617
- [7] NEN-EN 17128:2020, EN 17128:2020, (2020), Lichte gemotoriseerde voertuigen voor het vervoer van personen en goederen en gerelateerde voorzieningen en niet onderworpen aan typegoedkeuring voor gebruik op de weg – Persoonlijke lichte elektrische voertuigen (PLEV) – Veiligheidseisen en beproevingsmethoden
- [8] Richtlijn 2006/42/EG: 'Machines en wijziging Richtlijn 95/16/EG'
- [9] ETSC PACTS (2023): 'Recommendations on safety of e-scooters'
- [10] Guy, et al. (2021): 'Study on market development and related road safety risks for L-category vehicles and new personal mobility devices', TRL
- [11] De Graaf, B. en Van Weperen, W. (1995): 'Met behoud van evenwicht: experimenteel onderzoek naar grenswaarden voor versnellingen die het menselijk lichaam kan ondergaan zonder het houdingsevenwicht te verliezen', Nederlands Tijdschrift voor de Geneeskunde, Vol. 139(8), pp. 337-381
- [12] Schwab, A. (2021): 'Notitie Vermogen bij LEV's', TU Delft Bicycle Lab, 25 november 2021
- [13] Bierbach, M., Adolph, T., Frey, A., Kollmus, B., Bartels, O., Hoffmann, H., Halbach, A. (2018): 'Untersuchung zu Elektrokleinstfahrzeugen'. BASt
- [14] EN 15194:2017: 'Cycles – Electrically Power Assisted Cycles – EPAC Bicycles', CEN
- [15] Verordening (EU) Nr 168/2013: 'Goedkeuring van en het markttoezicht op twee- of driewielige voertuigen en vierwielers'
- [16] NEN-ISO 6742-1 (2015): 'Fietsen – Verlichting- en retro-reflectie apparatuur – Deel 1: Verlichting- en lichtsignaleringsapparatuur'
- [17] UNECE Regulation No 138 (2016), 'Uniform provisions concerning the approval of Quiet Road Transport Vehicles with regard to their reduced audibility'
- [18] UNECE (2022), 'Proposal for a new UN Regulation on Reverse Warning', ECE/TRANS/WP.29/2022/88
- [19] OneWheel website, <https://onewheel.com/products/onewheel-gt>, bezocht maart 2023
- [20] Verordnung über die Teilnahme von Elektrokleinstfahrzeugen am Straßenverkehr (Elektrokleinstfahrzeuge-Verordnung - eKfV), <https://www.gesetze-im-internet.de/ekfv/BJNR075610019.html>, bezocht maart 2023
- [21] Nederlandse Voedsel- en Warenautoriteit (2019), 'Hoverboards 2018'
- [22] Gregory (2017): 'New Urban Mobility, Risico's en risicoperceptie van de nieuwe voortbewegingstoestellen', Belgisch Instituut voor de Verkeersveiligheid, D/2017/0079/54

- [23] M. Knoope en M. Kansen (2021): 'Op weg met LEV: De rol van licht elektrische voertuigen in het mobiliteitssysteem', Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid KiM, KiM-21-A010
- [24] FPMM (2020): 'Usages, risques et accidentalité des EDPM', Rapport d'étude
- [25] FPMM, Fédération des Professionnels Micro-Mobilité (2021). 'Analyse du panel particuliers 1er semestre 2021'
- [26] Schwab, A. (2021): 'Ongevallen met lichte elektrische voertuigen (LEVs); inzichten vanuit de literatuur', TU Delft, 3 februari 2021, versie 3.4
- [27] Xu, J., et. Al (2016): 'Are electric self-balancing scooters safe in vehicle crash accidents?', Accident Analysis and Prevention 87, p. 102-116
- [28] Evolve website, "Can you ride an electric skateboard normally when it's raining?", <https://www.rideevolve.com/blogs/news/can-you-ride-an-electric-skateboard-normally#:~:text=Can%20you%20ride%20an%20electric%20skateboard%20normally%20when%20it%27s%20raining,wet%20and%20dirty%20when%20riding.>, bezocht maart 2023
- [29] Onewheel website, FAQs: <https://onewheel.com/pages/faq>
- [30] Wedze website, <https://www.wedze.co.uk/how-do-i-know-if-i-am-goofy-or-regular> bezocht maart 2023
- [31] NEN-EN-IEC 60334-1:2012: 'Huishoudelijke en soortgelijke elektrische toestellen – Veiligheid – Deel 1: Algemene eisen'
- [32] UK Department for Transport (2020): 'Guidance Powered transporters', <https://www.gov.uk/government/publications/powered-transporters/information-sheet-guidance-on-powered-transporters>, bezocht maart 2023
- [33] Micro-Mobility for Europe (MMfE) (January 2023) Incident data involving shared e-scooters, online under: Incident Data Involving Shared E-Scooters (https://www.traffictechnologytoday.com/wp-content/uploads/2023/01/Incident_Data_Involving_Shared_E_Scooters.pdf)
- [34] Mobiprox (2022). 'Analyse de l'impact environnemental 22 aout 2022'

7 Bijlage A - De vragenlijst

De vragenlijst was verzonden naar 26 experts, met een response rate van 23%, oftewel 8 reacties in totaal.

Drie reacties hadden betrekking op specifieke steden (Gothenburg in Zweden, Lissabon in Portugal en Trikala in Griekenland), terwijl de andere vier de regelgeving op landsniveau beschouwden (Verenigd Koninkrijk, Frankrijk en Finland).




Hieronder volgt een letterlijke weergave van de online vragenlijst (in het Engels).

 Welcome to this questionnaire providing input to a research project on regulation and traffic safety aspects of light electric vehicles (LEV's) without steering wheel performed by TNO. First, we would like to thank you for your participation in this study. *This short survey aims in gaining insight into regulations and traffic safety aspects for these types of vehicles in different cities.*

This research contributes to the Dutch ministry of Infrastructure and Water Management, which is interested in learning from the experiences and practices of other countries about the possibilities to regulate LEV's without steering wheel in the Netherlands. Currently, all vehicles without steering wheel are not allowed on the Dutch roads and we aim to obtain valuable information provided by you to better understand their regulation in terms of road safety.

This short survey will take no more than 10 minutes to complete and the results will be shared with interested survey participants.

This survey contains questions regarding the following vehicle types:

<i>Monowheel</i>	<i>Onewheel</i>	<i>Electric skateboard</i>
		
One-wheeled single-track vehicle with speed above 6 km/h.	Self-balancing single-wheel vehicle with speed above 6 km/h.	An electric vehicle based on a skateboard.

The survey is structured as follows:

First, questions regarding which LEV's without steering wheel are allowed in your city are asked, and information about since when they have been in use. Following, questions about the regulation are presented, with a more in depth focus on traffic safety. Finally, your municipality and your role in it are asked.

By completing the questionnaire, you indicate that you are sufficiently informed about the research, you agree to participate, and you give permission for the processing of your personal and research data. You also give permission for reuse of your research data for future research in the research area described, provided that these are coded in such a way that they can no longer be traced back to you as a person.

LEVs allowed in your city

q1: Which of the following lightweight vehicles without steering wheel are allowed in your city? (either privately owned or offered by companies in a sharing system) *(select all that apply)*

- MonoWheels.
- Onewheels.
- Electric skateboards.
- None of the above.

q2: If possible, please add some more information about Light Electric Vehicles without steering wheel in your city.

	In use since:	Introduced by:	Estimation of number of vehicles:
MonoWheels ¹⁾	_____	_____	_____
Onewheels ²⁾	_____	_____	_____
Electric skateboards ³⁾	_____	_____	_____

Regulation Questions

RQ1: Is a sharing system feasible for LEV's without steering wheel? Please, motivate your answer considering what has been occurring in your city.

RQ2: Admission: Under which regulation/legal framework do the LEVs without steering wheel fall in your city? *(please consider all the options that you selected that are allowed)*
(Admission considers the entry requirements of the vehicle in the regulation, e.g. dimensions, weight, range, electrical power, having a remote control, etc)

	Private use	Sharing System
National regulation	▪	▪
Regional regulation (e.g. province)	▪	▪
Local regulation (city)	▪	▪
Clear regulation is missing	▪	▪
Other:	▪	▪

RQ3: Use: under which regulation does the use of LEV's without steering wheel fall? (Use considers the regulations regarding the usage of the vehicle, e.g. minimum age, helmet, having a driver's license, etc)

	Private use	Sharing System
National regulation	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Regional regulation (e.g. province)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Local regulation (city)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Clear regulation is missing	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Other:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

RQ4: In terms of regulation, where can the vehicle be used?

	MonoWheel ¹⁾	Onewheel ²⁾	Electric Skateboard ³⁾
Bicycle path	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Pedestrian lane	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
City-street	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
Other:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

RQ5: Which rules are in place?

	MonoWheel ¹⁾	Onewheel ²⁾	Electric Skateboard ³⁾
Vehicle ID (physical license plate)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Helmet requirement	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Minimum age	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Requirements regarding insurance	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Speed limit	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Driver's license	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Other	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Regulation Questions - Traffic Safety

TS1: Considering the LEV's without steering wheel, what safety precautions/mitigating measures are being taken?

TS2: Are accidents with LEV's without steering wheels being monitored? If yes, how?

TS3: Does the use of LEV's without steering wheel lead to additional accidents (compared to normal mobility options)? Please motivate your answer based on experience, data, statistics or research on the topic.

TS4: Does the use of LEV's without steering wheel lead to (the feeling of) decreased traffic safety for other road users? Please motivate your answer based on experience, data, statistics or research on the topic.

Regulation Questions - negative

RQ_N: Why are LEV's without steering wheel not allowed in your city?

Personal Information

per1: City and Country:

per2: What is your role or position?

- o Policy maker/employee at the municipality.
- o Policy maker/employee at the transport authority.
- o Independent advisor/consultant.
- o Other, namely: _____

per3: If you have any comments about the questionnaire, please feel free to add them:

per4: If you'd like to get the results from this survey, please leave your e-mail address here:

per5: May we approach you for an additional interview if we think it would have added value to this study? If yes, please provide additional contact details below.

- o Yes, contact details (telephone number, other e-mail address)::

- o No.

Thank you very much for your participation in this survey. TNO and the ministry appreciate your valuable input in the regulation of LEV's in the Dutch cities. Your responses have been sent.

7.

Mobility & Built Environment

8. Automotive
5708 JZ Helmond
9. www.tno.nl

Campus

30