



Veiligheid elektrisch rijden en laden in logistiek en bouw

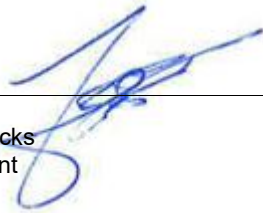
Rijksdienst voor Ondernemend Nederland

Rapport nr.: 21-1865, Rev. 2

Datum: 14-02-2022

Projectnaam: RVO VER logistiek en bouw Energy Systems
 Rapport titel: Veiligheid elektrisch rijden en laden in logistiek en bouw DNV Netherlands B.V.
 Klant: Rijksdienst voor Ondernemend Nederland Utrechtseweg 310-B50
 Prinses Beatrixlaan 2, 2595 AL 's-Gravenhage 6812 AR Arnhem
 Contactpersoon klant: Sipke Castelein
 Datum uitgave: 14-02-2022
 Project nr.: 10301325 Tel: 026 356 9111
 Organisatie unit: RA/STR Handelsregister Arnhem 09006404
 Rapport nr.: 21-1865, Rev. 2

Geschreven door:



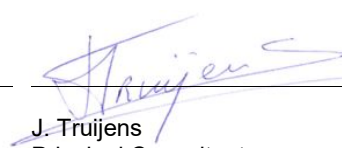
J. Hendricks
Consultant

Beoordeeld door:



M. Huibers
Senior Consultant/ Team Lead

Goedgekeurd door:



J. Truijens
Principal Consultant

Co-auteur:

R. 't Hoen
Senior Engineer

J. van der Burgt
Principal consultant

Copyright © DNV 2022. All rights reserved. Unless otherwise agreed in writing: (i) This publication or parts thereof may not be copied, reproduced or transmitted in any form, or by any means, whether digitally or otherwise; (ii) The content of this publication shall be kept confidential by the customer; (iii) No third party may rely on its contents; and (iv) DNV undertakes no duty of care toward any third party. Reference to part of this publication which may lead to misinterpretation is prohibited.

DNV Distributie:

- Open
 Intern
 Commercieel vertrouwelijk
 Vertrouwelijk
 Geheim

*Specificatie distributie: --

Trefwoorden:

Elektrisch Vervoer, EV, laadinfrastructuur, logistiek, bouw, veiligheid

Rev.	Datum	Reden van uitgave	Auteur	Beoordelaar	Goedkeuder
CONCEPT	08-12-2021	Conceptrapport	J. Hendricks; R. 't Hoen; J. van der Burgt	M. Huibers	J. Truijens
CONCEPT	28-12-2021	2 ^e conceptrapport na commentaarroude	J. Hendricks, R. 't Hoen; J. van der Burgt	M. Huibers	J. Truijens
0	28-01-2022	Definitief rapport	J. Hendricks, R. 't Hoen; J. van der Burgt	M. Huibers	J. Truijens
1	01-02-2022	Eindrapport na commentaarroude	J. Hendricks, R. 't Hoen; J. van der Burgt	M. Huibers	J. Truijens
2	14-02-2022	Eindrapport na correcties	J. Hendricks, R. 't Hoen; J. van der Burgt	M. Huibers	J. Truijens

INHOUDSOPGAVE

INHOUDSOPGAVE	III
SAMENVATTING.....	1
1 INLEIDING	4
1.1 Aanleiding	4
1.2 Aanpak van deze studie	4
1.3 Indeling van dit document	5
1.4 Achtergrond en ontwikkelingen	5
1.5 Status elektrificering in logistiek en bouw	8
2 LOGISTIEK	9
2.1 Scope	9
2.2 Voertuigveiligheid	12
2.3 (Onzichtbare) beschadiging batterij	13
2.4 Brandveiligheid	15
2.5 Incidentmanagement	16
2.6 Afsloten ruimte	18
2.7 Laadinfrastructuur	20
2.8 Geluid en afwezigheid daarvan	21
2.9 Overige veiligheidsaspecten: gedrag en processen	22
3 BOUW	24
3.1 Scope	24
3.2 Voertuigveiligheid	27
3.3 (Onzichtbare) beschadiging batterij	27
3.4 Brandveiligheid	28
3.5 Incidentmanagement	29
3.6 Afsloten ruimte	30
3.7 Laadinfrastructuur	31
3.8 Geluid en afwezigheid daarvan	32
3.9 Overige veiligheidsaspecten: gedrag en processen	32
4 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN.....	34
4.1 Conclusies – algemeen	34
4.2 Conclusies – logistiek	34
4.3 Conclusies – bouw	37
4.4 Aanbevelingen	39
REFERENTIES.....	41
Appendix A Afkortingen	
Appendix B Begeleidingsgroep en geïnterviewden	

SAMENVATTING

In november 2020 publiceerde CE Delft in opdracht van de NAL¹ werkgroep Veiligheid de studie Veiligheid en elektrische personenauto's [1] met een uitgebreide inventarisatie van alle veiligheidsaspecten met betrekking tot het laden en rijden voor personenauto's. De toepassing van batterij-elektrische voertuigen en mobiele machines in de logistiek en op de bouwplaats zijn in deze inventarisatie niet meegenomen. Om ook voor deze sectoren inzicht te krijgen in de risico's en regelgeving voor de verschillende veiligheidsaspecten heeft de NAL werkgroep Veiligheid in samenwerking met de werkgroep Logistiek DNV opdracht gegeven voor een studie naar batterij-elektrisch aangedreven voertuigen en mobiele machines in de logistiek en bouw. Elektrische bussen worden behandeld in een separaat onderzoek van CE Delft [2] en vallen daarom buiten de scope van dit rapport. De volgende **onderzoeksvragen** liggen aan de basis van deze studie (met betrekking tot batterij-elektrische voertuigen en mobiele machines in de logistiek en bouw):

1. Welke relevante onderzoeksresultaten in binnen- en buitenland zijn bekend?
2. Welke algemene en veiligheidsspecifieke wet- en regelgeving, normen, veiligheidseisen en keurmerken bestaan er? Wordt deze regelgeving nageleefd? Wordt erop gehandhaafd?
3. Wat zijn de risico's voor de verschillende veiligheidsaspecten, wat zijn kennislacunes en is de bestaande regelgeving afdoende?

Om de onderzoeksvragen te beantwoorden is gebruik gemaakt van literatuur, andere openbare bronnen en kennis en informatie van DNV. Vervolgens zijn interviews gehouden met diverse partijen uit beide sectoren waarbij voorlopige inzichten en open vragen zijn meegenomen. Na analyse van informatie uit alle bronnen is een rapport opgesteld, waarbij in meerdere revisies feedback van de begeleidingsgroep van het project en hun achterban is meegenomen.

Op basis van deze studie kan in het algemeen gesteld worden dat de veiligheidsrisico's (kans maal effect) door batterij-elektrische voertuigen en mobiele machines in logistiek en bouw vooralsnog beperkt zijn, in absolute zin en relatief in vergelijking met conventionele voertuigen en mobiele machines. Hoewel de impact van incidenten in sommige gevallen groot kan zijn, vooral bij niet-afdoende mitigatie, is de kans hierop klein, en vanwege de huidige kleine aantallen voertuigen zullen incidenten nog weinig voorkomen. Het verdient wel aanbeveling om nu al te beginnen met het adresseren van (met name) de grootste geïdentificeerde veiligheidsrisico's, met het oog op de verwachte sterke groei van batterij-elektrische voertuigen en mobiele machines in logistiek en bouw in de komende jaren, waardoor deze risico's zich zullen materialiseren. Ook is het verstandig deze groei en de ontwikkelingen van (aantallen) incidenten en veiligheidsrisico's te monitoren, om tijdig te kunnen bijsturen waar nodig.

In onderstaande twee tabellen zijn beknopt de **risico's** en belangrijkste **kennislacunes** voor respectievelijk de logistiek en de bouw samengevat. De risico's zijn hierbij onderverdeeld op basis van risico-inschatting.²

¹ Nationale Agenda Laadinfrastructuur

² Dit is een kwalitatieve inschatting van kans maal effect voor de per onderwerp genoemde risico's. Gebruikte gradaties: laag, middel en hoog. Een hoog risico houdt de verwachting in dat betreffende risico's op een termijn van maanden zullen leiden tot incidenten met beperkte impact, en/of binnen enkele jaren tot incidenten met grote impact.

Risico's en kennislacunes met betrekking tot EV's in de **logistiek**

Hoog risico	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Incidentmanagement</i>: Kennisdeling is beperkt vanwege terughoudendheid van fabrikanten en regionaal verspreide aanpak. Diversiteit aan merken en typen voertuigen bemoeilijkt kennisopbouw. De informatie over vrachtwagens in informatiesystemen van hulpverleners is onvolledig. Geen oplossing veiligstellen verbrande e-trucks. - <i>Gedrag en processen</i>: weinig kennis en ervaring met EV-veiligheid. NEN 9140 niet overal goed geïmplementeerd.
Middelmatig risico	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Voertuigveiligheid</i>: keuringen van omgebouwde voertuigen mogelijk ontoereikend - <i>Brandveiligheid</i>: bij brand mogelijke overslag naar nabije voertuigen en mogelijke impact op nabije constructies - <i>Afgesloten ruimte</i>: brandveiligheidseisen niet specifiek voor EV's; mogelijk onvoldoende bluswater beschikbaar
Laag risico	<ul style="list-style-type: none"> - <i>(Onzichtbare) beschadiging batterij</i>: veiligheid batterij onduidelijk na een incident - <i>Incidentmanagement</i>: procedure tewatergeraking is niet geschikt voor e-trucks - <i>Laadinfrastructuur</i>: periodieke veiligheidsinspectie en onderhoud niet verplicht. Aanrijdrisico van laadinfrastructuur. In bepaalde gevallen risico op overbelasting. - <i>Geluid en afwezigheid daarvan</i>: verhoogd verkeersrisico bij EV's zonder AVAS-geluidssysteem - <i>Gedrag en processen</i>: risico op overschrijden laadgewicht vanwege extra gewicht batterij.
Belangrijkste kennislacunes	<ul style="list-style-type: none"> - Bepaling van het brandverloop afhankelijk van voertuigtype en positie van de batterijen. - Bepaling impact van (intense) EV-branden op constructieve veiligheid van nabije constructies. - Alternatieve blus- en bergingsmethodes voor e-trucks, m.n. in afgesloten ruimtes.

Risico's en kennislacunes met betrekking tot elektrische mobiele machines in de **bouw**

Hoog risico	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Incidentmanagement</i>: geen oplossing veiligstellen verbrande elektrische mobiele machines en werktuigen. Onvolledige informatie over elektrische mobiele machines in systemen hulpverleners. - <i>Gedrag en processen</i>: weinig kennis en ervaring met veiligheid, vergroot risico door oplossingsgerichte mentaliteit en doorgaans beperkte elektrotechnische expertise; beperkte kennisdeling.
Middelmatig risico	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Voertuigveiligheid</i>: keuringen van omgebouwde elektrische mobiele machines mogelijk ontoereikend; machinisten e.d. kunnen onvoldoende bekend zijn met andere eigenschappen van elektrische mobiele machines - <i>(Onzichtbare) beschadiging batterij</i>: kans op (mechanisch) incident groter in de bouw, waarna de veiligheid van de batterij onduidelijk is, m.n. wanneer extra batterijen zijn aangebracht. - <i>Brandveiligheid</i>: bij brand mogelijke overslag naar nabije mobiele elektrische machines en mogelijke impact op nabije constructies. Kennisgebrek kan leiden tot onveilig handelen. - <i>Laadinfrastructuur</i>: gebruik onveilige laadinfrastructuur (bv. bij locaties zonder elektriciteit)
Laag risico	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Geluid en afwezigheid daarvan</i>: mogelijk verhoogd verkeersrisico door gebrek aan geluid bij elektrische mobiele machines en voertuigen zonder AVAS, mogelijk ook veiligheidsvoordelen.
Belangrijkste kennislacunes	<ul style="list-style-type: none"> - Alternatieve blus- en bergingsmethodes op bouwlocaties. - Risico's van elektrische mobiele machines in ATEX-omgeving en oplossingen daarvoor. - Testprotocol / validatie-eisen voor elk type omgebouwde elektrische mobiele machine. - Bepaling of batterijpakket beschadigd is na een incident. - Bepaling van brandverloop afhankelijk van type elektrische mobiele machine en batterijpositie. - Bepaling impact van (intense) branden op constructieve veiligheid van nabije constructies.

Bovenstaande risico's en kennislacunes in aanmerking nemend zijn 17 **aanbevelingen** opgesteld, in de categorieën: batterij, voertuigveiligheid en incidentmanagement, gedrag en processen, geluid, en laadinfrastructuur. Vier van deze aanbevelingen zijn aangemerkt als prioriteit en zijn hieronder weergegeven:

- Extra aandacht besteden aan de keuring van het batterijpakket van elektrische voertuigen en mobiele machines die omgebouwd zijn of opbouw hebben. De keuringsinstantie zal goed moeten nagaan of de vereiste ontwerpisen gevolgd zijn en tests en validaties voldoende en correct uitgevoerd zijn.
- Methode ontwikkelen voor langdurig veiligstellen verbrande grote EV's, bijvoorbeeld: eisen aan brandpropagatie, nieuwe blusmethodes, nieuwe protocollen voor veiligstellen (grote) e-voertuigen.
- Kennisopbouw verbeteren door uniforme handelingsprotocollen, nationale aanpak / opleiding, en kennisdeling van incidenten en *near misses* binnen de sector.
- Bredere training voor werknemers in zowel logistiek als bouw met betrekking tot EV's en elektrische mobiele machines en batterijen daarvan: omgang, herkennen van risico's, handelen bij incidenten. Onderwerpen zijn bv. botsingen, val van lasten, omgaan met (verwisselbare) batterijen, voorkomen van en omgaan met beschadigingen aan batterijen, etc. Relevante werkvoorschriften moeten worden aangepast.

1 INLEIDING

1.1 Aanleiding

Elektrisch rijden wordt in Nederland en daarbuiten steeds meer gemeengoed. Afgezet tegen benzine- en dieselvoertuigen zijn elektrische voertuigen en mobiele machines echter nog steeds betrekkelijk nieuw en onbekend. Eén van de zaken die voor (onder meer) de overheid van belang zijn, zijn de veiligheidsrisico's die gepaard gaan met de introductie van een nieuwe technologie als elektrisch rijden. November 2020 publiceerde CE Delft in opdracht van de NAL³ werkgroep Veiligheid de studie Veiligheid en elektrische personenauto's [1] met een uitgebreide inventarisatie van alle veiligheidsaspecten met betrekking tot het laden en rijden voor personenauto's. De toepassing van elektrische voertuigen en mobiele machines in de logistiek en op de bouwplaats zijn in deze inventarisatie niet meegenomen. Om ook voor deze sectoren inzicht te krijgen in de risico's en regelgeving voor de verschillende veiligheidsaspecten heeft de NAL werkgroep Veiligheid in samenwerking met de werkgroep Logistiek DNV opdracht gegeven voor een onderzoek. Dit onderzoek richt zich alleen op batterij-elektrisch aangedreven voertuigen en mobiele machines in de logistiek en bouw. Elektrische bussen worden behandeld in een separaat onderzoek van CE Delft [2] en vallen daarom buiten de scope van dit rapport.

De volgende onderzoeksvragen liggen aan de basis van deze studie (met betrekking tot batterij-elektrische voertuigen en mobiele machines in de logistiek en bouw):

1. Welke relevante onderzoeksresultaten in binnen- en buitenland zijn bekend op het gebied van veiligheid en elektrisch laden en rijden in de logistiek en op de bouwplaats?
2. Welke wet- en regelgeving, normen, veiligheidseisen en keurmerken bestaan er op het gebied van elektrisch vervoer en veiligheid? Wordt deze regelgeving nageleefd? Wordt erop gehandhaafd?
3. Wat zijn de risico's voor de verschillende veiligheidsaspecten, wat zijn kennislacunes en is de bestaande regelgeving afdoende?

1.2 Aanpak van deze studie

1.2.1 Stappen

De eerste stap van deze studie bestond uit literatuuronderzoek. Om de onderzoeksvragen te beantwoorden is gezocht in en gebruik gemaakt van vak- en wetenschappelijke literatuur, andere openbare informatie zoals websites, nieuwsberichten, kennis en ervaring van DNV-experts, informatie van DNV (bv. uit eerdere onderzoeken, berekeningen en tests) en nieuwe analyses. Vervolgens zijn interviews gehouden met diverse partijen (zie volgende subparagrafen) waarbij voorlopige inzichten en open vragen zijn meegenomen. Na analyse van informatie uit alle bronnen is een conceptrapport opgesteld. Dit is voorgelegd aan de leden van de begeleidingsgroep van het project en de werkgroep NAL Logistiek waarin zowel de logistiek als bouw vertegenwoordigd is in verschillende taakgroepen. Hun feedback en die van eventuele achterban is verwerkt tot het definitieve rapport. De samenstelling van de begeleidingsgroep is te vinden in Appendix B.

1.2.2 Interviews

Interviews met diverse belanghebbenden uit de logistiek en bouwsectoren, evenals brancheorganisaties, zijn als aanvullende bronnen gebruikt. Het voegt waarde toe (bv. aanvullende punten, nuanceringen, details) om input te krijgen van partijen die zelf actief zijn in de betreffende sectoren, met name met betrekking tot welke EV's gebruikt worden, in welke situaties, en bestaande kennis over risico's, veiligheidsmaatregelen en incidenten.

De inhoud van de interviews is in overleg met diverse geïnterviewden niet letterlijk weergegeven in dit openbare rapport. In veel gesprekken is af en toe potentieel gevoelige informatie ter sprake gekomen, zoals concurrentiegevoelige

³ Nationale Agenda Laadinfrastructuur

inzichten, plannen en achtergronden die (nog) niet openbaar zijn, of persoonlijke meningen die kunnen afwijken van het officiële standpunt van hun organisatie. Voor letterlijke weergave van al het besprokene hebben de betreffende organisaties geen toestemming gegeven, wat gezien het doel van de interviews geen probleem is voor dit onderzoek. In plaats daarvan is een uitgebreide analyse gemaakt van alle informatie uit alle interviews, met als uitkomst een uitgebreid overzicht met inzichten en trends, die meegenomen zijn bij beantwoording van de onderzoeksvragen.

In overleg met de begeleidingsgroep is een lijst met te interviewen partijen samengesteld. Met alle partijen heeft een interview plaatsgevonden. De uiteindelijke lijst met benaderde en geïnterviewde partijen en personen staat in bijlage Appendix B.

1.3 Indeling van dit document

In het inleidende hoofdstuk 1 wordt allereerst uitgelegd waarom en hoe deze studie heeft plaatsgevonden. Verder wordt een aantal belangrijke ontwikkelingen en achtergronden besproken die dienen als context om de resultaten van de studie in te plaatsen. Hoofdstuk 2 behandelt de resultaten van deze studie in detail, met betrekking tot elektrisch vervoer en laden in de logistieke sector. Daarbij wordt beschreven welke voertuigen hieronder vallen, alvorens per veiligheidscategorie bestaand onderzoek, wet- en regelgeving / normen / veiligheidseisen, en risico's worden beschouwd. De veiligheidscategorieën komen uit de RVO-onderzoeksvragen, met een "Overige" categorie als aanvulling. Hoofdstuk 3 richt zich op de onderzoeksresultaten voor de bouwsector en heeft een identieke indeling. Conclusies, waaronder risico's en kennislacunes, en aanbevelingen worden weergegeven in hoofdstuk 4. Referenties, een afkortingenlijst en bijlagen zijn ondergebracht aan het einde van het rapport.

1.4 Achtergrond en ontwikkelingen

Om de inzichten en conclusies van dit onderzoek in de juiste context te plaatsen en beter begrijpelijk te maken, worden in deze paragraaf relevante achtergronden en ontwikkelingen meegegeven aan de lezer.

1.4.1 Drijfveren voor omschakelen naar elektrische voertuigen – logistieke sector

Zero-emissie stadsdistributie

In het klimaatakkoord is afgesproken dat vanaf 1 januari 2025 minimaal dertig tot veertig gemeentes een zero-emissiezone hebben ingesteld. Vanaf die datum moeten alle nieuwe vracht- en bestelauto's die een zero-emissiezone in willen rijden emissievrij zijn aangedreven. Vanaf 2030 moeten alle voertuigen in de zero-emissiezones volledig emissievrij rijden. Inmiddels hebben 26 gemeentes een besluit genomen een ZE-zone voor stadslogistiek in te voeren [3].

Dat betekent dat de eerste ervaringen worden opgedaan in dichtbevolkte gebieden [4]. Ook zijn er zorgen in de markt of er in voldoende laadinfrastructuur kan worden voorzien. De laadinfrastructuur staat voor grote uitdagingen, met name als het gaat om het verkrijgen van voldoende aansluitcapaciteit op het elektriciteitsnet. Om die reden werken partijen samen in het kader van de Nationale Agenda Laadinfrastructuur om te zorgen dat er voldoende laadinfrastructuur voor de logistiek beschikbaar is.

1.4.2 Drijfveren voor omschakelen naar elektrische voertuigen en mobiele machines – bouwsector

Emissieloos bouwen

Ook in de bouwsector wordt duurzaamheid steeds belangrijker, nu vooral nog gedreven door de wens vanuit de overheden, zoals de rijksoverheid, gemeentes, waterschappen en Rijkswaterstaat. Vanuit onder andere het Klimaatakkoord, Schone Lucht Akkoord en de Aanpak Stikstof is er ambitie om mobiele machines en voertuigen in de bouw te verschonen en emissieloos te maken. De routekaart Schoon en Emissieloos Bouwen (SEB) heeft als ambitie om in 2030 60% stikstofreductie, 75% gezondheidswinst en 0,4 Mton CO₂-reductie te realiseren in de bouw [5].

Diesel-aangedreven mobiele machines stoten significante emissies uit. Emissiereductie door inzet van elektrische mobiele werktuigen helpt de bouwsector om uitstoot van CO₂, stikstof en fijnstof op de bouwplaats te verlagen.

Bovendien zijn elektrische mobiele machines stiller, waardoor ze minder geluidsoverlast leveren voor zowel werknemers als de omgeving. Daarnaast zijn elektrische mobiele machines onderhoudsvriendelijker. De kosten voor onderhoud en energie zijn lager dan van machines die op fossiele brandstoffen draaien. BMWT⁴ ziet dat het aanbod groeit [6], vooral als antwoord op de vraag bij projecten in stiltegebieden en/of stedelijk gebied.

BasisInspectieModule (BIM) Blootstelling aan dieselmotoremissies (DME)

De BIM Blootstelling aan dieselmotoremissies is vorig jaar geactualiseerd naar de huidige stand van de techniek. Per 1 juli 2020 is de wettelijke grenswaarde voor DME van kracht geworden [7], die toepasbaar is voor werkzaamheden of arbeidsplaatsen waar blootstelling aan DME is. Deze BIM is een belangrijke drijfveer voor elektrificatie van de bouw.

1.4.3 Verschillen met elektrische personenvoertuigen en bussen

Deze en de volgende subparagraaf bieden een algemeen overzicht van verschillen tussen elektrische voertuigen en mobiele machines in de bouw en logistiek ten opzichte van personen-EV's, respectievelijk conventionele voertuigen c.q. machines in de sectoren. Het helder krijgen van verschillen en overeenkomsten (en op welk gebied) kan het identificeren en begrijpen van eventuele veiligheidsrisico's vergemakkelijken.

Ontwerp

- Elektrische varianten van logistieke voertuigen en mobiele machines zijn qua ontwerp op veel punten vergelijkbaar met de ICE⁵ variant. Het verschil zit voornamelijk in de aandrijving via elektromotor en batterij. Daarbij gelden dezelfde verschillen op het gebied van zwaartepunt, massa en aandrijving die ook voor elektrische personenvoertuigen kunnen worden geïdentificeerd.

Locatie

- Logistiek: naast rijden op de openbare weg ook bij magazijnen, winkels en op bedrijventerreinen. Laden van de batterij vindt soms plaats tijdens laden/lossen.
- Bouw: onregelmatig terrein, zand en stof, beperkte laadinfrastructuur ter plekke.

Energiecapaciteit

- De energiecapaciteit van batterijen voor elektrisch vrachtauto's kan variëren van 100 kWh tot 600 kWh afhankelijk van het type voertuig (dit is vergelijkbaar met e-bussen), terwijl huidige personen-EV's tot 120 kWh gaan. De spanning is niet hoger dan bij een personen-EV, typisch 400 V tot 800 V DC.

Plaats van het accupakket

- Waar het batterijpakket bij een personen-EV zich typisch onderaan bevindt, zijn er bij elektrische trucks en mobiele machines meerdere opties, bijvoorbeeld midden onderin of aan de zijkant van het voertuig. Bestelwagens zijn vergelijkbaar met personen-EV's.

Trucks vergeleken met bussen

- Plaats van de batterijen in het voertuig: bij e-bussen soms bovenop en soms onderin; bij e-trucks veelal midden onderin of aan de zijkant.
- OV-bussen hebben een vaste route met vaste laadpunten; trucks hebben toegang tot laadpunten op eigen terrein en mogelijk behoefte aan snelladen onderweg. Wat dit betreft zijn e-trucks vergelijkbaar met elektrische touringcars.
- Laden/lossen in de stad op plaatsen met veel voetgangers en fietsers, dit is vergelijkbaar met een bushalte

⁴ BMWT is de brancheorganisatie van leveranciers van bouwmachines, magazijninrichtingen, wegenbouwmachines en transportmaterieel.

⁵ Internal Combustion Engine (interneverbrandingsmotor)

- De opbouw (carrosserie) van een e-truck kan ook een elektrisch systeem met veel verbruikers (elektrische apparaten) bevatten, waarvoor één of meerdere extra batterijen worden gebruikt.

1.4.4 Verschillen met conventionele voertuigen en mobiele machines in logistiek en bouw

In onderstaande overzicht worden batterij-aangedreven werktuigen in de bouw (niet mobiel) niet meegenomen.

Aandrijflijn

- Elektromotor in plaats van verbrandingsmotor (per definitie)
- Minder onderhoud
- Hoge elektrische spanning vormt een extra risico
- Brandveiligheid en incidentmanagement zijn anders

Accupakket

- Batterij onderin: zwaartepunt lager
- Soms ook batterij op ongebruikelijke plek
- Massa: grotere massa en dus meer massatraagheid
- Meer ontwerprijheid: bijvoorbeeld accupakketten voor- en achteraan geplaatst
- Grotere acceleratie: beter opletten in kleine ruimte
- Remmen: energie terugwinnen betekent sneller en harder remmen

Laadinfrastructuur

- In plaats van tankstations zijn laadpalen nodig, op centrale locaties, langs transportcorridors of op bedrijventerreinen c.q. bouwplaatsen / bouwhubs.
- Extra behoefte aan netcapaciteit op de bouwplaats, welke niet altijd aanwezig is. Kan mogelijk worden opgelost door inzet van mobiele laadinfrastructuur in combinatie met een energieopslagsysteem.
- Batterij verwisselen (lege vervangen door volle batterij) is een mogelijk alternatief voor lokaal laden op de bouwplaats.

Carrosserieopbouw

- Sommige types vrachtauto's zijn niet eenvoudig te elektrificeren vanwege de hoge vermogensvraag (bv. vrachtauto's met een werkinstallatie erop). Voor dit soort voertuigen is mogelijk een waterstof-elektrische variant (FCEV) een oplossing.
- In sommige gevallen heeft een e-truck twee aparte elektrische systemen, één voor de aandrijving van de vrachtwagen zelf en één voor de opbouw, elk met zijn eigen batterij. De truck-OEM wil de truck-batterij soms niet voor de carrosseriebouwer beschikbaar stellen, omdat dit bijvoorbeeld de rijafstand van de truck beperkt. Dit resulteert dan in twee aansluitpunten om op te laden. Hierin dient, in het algemeen gesproken, de samenwerking tussen truckleveranciers en carrosseriebouwers nog te verbeteren. Dit soort gevallen zijn beginperikelen in een opkomende sector.

Laadgewicht

- Het gewicht van het onbeladen voertuig kan anders verdeeld zijn en ook hoger vanwege de batterij, maar het maximale gewicht moet per voertuigklasse gelijk blijven.⁶ De consequentie is dus dat er bij een EV iets minder nuttige lading mee kan.

1.5 Status elektrificering in logistiek en bouw

De brede trend van elektrificering gaat niet voorbij aan de logistiek en bouw. Een klein deel van de voertuigen en mobiele machines logistiek en bouw is al geëlektrificeerd [8] en het aantal zal naar verwachting snel stijgen. Het gaat vooralsnog voornamelijk om pilot- en demonstratieprojecten, waarin praktische ervaring wordt opgedaan. De huidige vloot elektrische voertuigen en mobiele machines bestaat voornamelijk uit omgebouwde varianten, hoewel er inmiddels enkele OEM-modellen voor logistiek en bouw te koop zijn.

De elektrificatie van bestelvoertuigen (cat. N1) volgt de ontwikkelingen op de personen-EV-markt. Deze zijn al standaard beschikbaar via OEM's en veel bezorgbedrijven hebben ambities om in de komende jaren een groot deel van hun vloot te elektrificeren.

De elektrificatie van trucks (cat. N2/N3) loopt achter bij die van personenauto's (o.a. wegens schaalgrootte) en bussen (o.a. wegens de makkelijker te plannen busroutes: vaak kleinere actieradius, vaste routes en eenvoudiger te plannen oplaadmomenten). De verwachting is dat er rond 2025 een scala aan lichte en zware e-trucks commercieel verkrijgbaar zal zijn [9].

De elektrificatie van mobiele machines in de bouw bevindt zich veelal in de pilotfase. Omdat dit vaak speciale machines met een beperkte oplage zijn, zijn ze nog niet commercieel haalbaar voor leveranciers. De elektrificatie van mobiele bouwmachines ontwikkelt zich vooral van klein naar groot (eerst kleine graafmachines en dergelijke), waarbij 'groot' op dit moment nog zeldzaam is, maar de markt ontwikkelt zich snel.

De huidige vraag naar elektrische voertuigen en mobiele machines vanuit bijvoorbeeld gemeentes is op dit moment groter dan het aanbod vanuit OEM's, dat nog op gang moet komen. Daarom is er momenteel een inzet van *retrofits* waarbij een standaard-ICE-voertuig of mobiele machine door een derde partij is omgebouwd tot een batterijgevoede versie (elektrificatie van de aandrijflijn). De verwachting is dat zulke retrofits tot 2030 belangrijk zullen zijn in de markt, met name voor zwaardere trucks en bouw materieel. In de retrofitbranche is veel diversiteit en soms beperkte expertise, wat tot verhoogde veiligheidsrisico's zou kunnen leiden.

⁶ Voor elektrische bestelbussen is het maximum gewicht (voor rijbewijs B) wel verhoogd van 3500 kg naar 4250 kg.

2 LOGISTIEK

Dit hoofdstuk bevat een overzicht van de veiligheidsaspecten met betrekking tot elektrisch vervoer in de logistiek.

2.1 Scope

Het logistiek vervoer dat in dit hoofdstuk wordt besproken betreft al het vervoer op de openbare weg.⁷ Dit betekent dat er voor deze voertuigen een kentekenplicht geldt en een typegoedkeuring van de RDW (Dienst Wegverkeer) vereist is. RDW onderscheidt de categorieën N1 t/m N3. Deze classificatie is gebaseerd op de Europese indeling, waarbij de N-categorie geldt voor logistieke voertuigen en de M voor personenvoertuigen [10].

Tabel 2-1 Indeling van logistieke voertuigen met laadvermogens en aantallen [11], [12].

Cat.	Type	Gewicht (ton)	Gemiddeld laadvermogen (kW)	Gemiddeld accupakket (kWh)	Aantallen* (NL)
N1	Bestelwagens	<= 3,5 (ICE); <= 4,25 (EV) (zie 2.1.1)	Standaard 7 – 22 (AC) Snel: 150 – 350 (DC/HPC)	40-100	852.000
N2	Lichte vrachtwagens	3,5 t/m 12	Standaard: 50 – 150 (DC/HPC) Snel: 150 – 350 (DC/HPC)	100 - 250	62.000
N3	Zware vrachtwagens	>12	50 – 350 (DC) <i>Mogelijk richting 1-4 MW</i>	125 - 600	74.000

* Dit zijn de totalen (brandstofauto's en EV's), waarvan het aandeel EV's nog zeer beperkt is.

ElaadNL heeft eind 2020 een prognose gepubliceerd [9] voor het aandeel van logistieke e-voertuigen in Nederland. De verwachting voor 2035 is als volgt: bestelvoertuigen (61%), e-trucks voor stadslogistiek (84%) en e-trucks (inter-)nationaal vervoer (42%).

Lichte elektrische voertuigen (LEV's) zoals elektrische brommers en (bak)fietsen vallen buiten de scope van dit onderzoek.

2.1.1 N1 – bestelwagens (tot 3,5 ton)

Voertuigen in de N1 categorie worden o.a. in een stadsomgeving ingezet voor bezorg- en pakketdiensten, horeca, bouw en service-onderhoud. Dit type wagen is in de elektrische variant commercieel verkrijgbaar en wordt geleverd door de bekende autofabrikanten (hierna: OEM's) zoals bv. Daimler en Nissan. Voor elektrische bestelauto's geldt een ontheffingsregeling van het C-rijbewijs voor het besturen van een elektrische bestelauto met een gewicht tot 4250 kg *gross vehicle weight* (GVW) [13] – dit betekent dat met deze ontheffing rijbewijs B voldoende is.

Accupakketten en vermogens, en daarmee ook het gebruik van laadinfrastructuur, zijn vergelijkbaar met personen-EV's.

⁷ Elektrische voertuigen in de intralogistiek, zoals elektrische vorkheftrucks, vallen dus buiten de scope. Desalniettemin kunnen sommige inzichten en conclusies van deze studie relevant zijn voor deze voertuigen.



Figuur 2-1 Voorbeelden N1-categorie elektrische voertuigen. Bron: Albert Heijn (links), Nissan (rechts).

2.1.2 N2 – bakwagen, vrachtwagen (tot 12 ton)

Voertuigen in de N2-categorie worden voornamelijk ingezet voor de stadslogistiek zoals horeca en verhuisdiensten. De elektrificatie van deze voertuigen bevindt zich in de startfase. Het zijn voornamelijk vaak omgebouwde voertuigen, waarbij het standaard ICE-model door een derde partij (bv. E-moss) wordt voorzien van een elektromotor en accu. De eerste OEM-voertuigen zijn momenteel commercieel beschikbaar en worden al ingezet. Elk omgebouwd voertuig moet individueel door de RDW worden getest en gekeurd.

Accupakketten (kWh) en vermogens (kW) zijn doorgaans groter dan die van personen EV's. Afhankelijk van het oplaadsce­nario en de grootte van het voertuig wordt er opgeladen via AC- of DC-laadinfrastructuur.



Figuur 2-2 Voorbeeld van een N2-categorie elektrisch voertuig. Bron: Logistiek010.

2.1.3 N3 – zwaar transport – trekker met oplegger vanaf 12 ton)

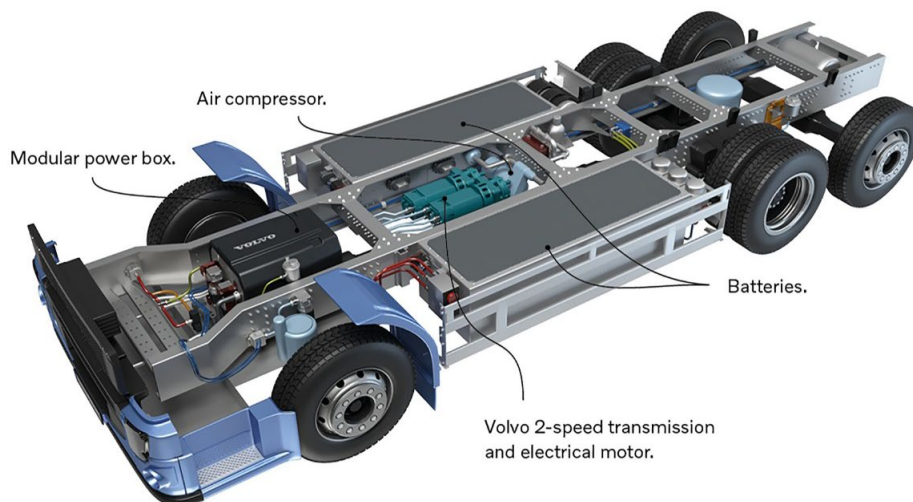
Voertuigen in de N3-categorie worden voornamelijk ingezet voor bouwlogistiek, bevoorrading of vuilnisdiensten. Vergelijkbaar met de N2-categorie bevindt de elektrificatie van dit type voertuig zich nog in de startfase. De elektrische voertuigen die rondrijden zijn voornamelijk retrofits. Het gewicht in deze categorie zal gemiddeld variëren van 12 tot 60 ton. Een van de zwaardere meest recente EV's is een omgebouwde vrachtwagen met kraan van 50 ton. Ook voor deze categorie geldt dat de eerste OEM-voertuigen commercieel beschikbaar zijn.



Figuur 2-3 Voorbeelden van N3-categorie elektrische voertuigen. Bron: Vlot Logistics (links), Volvo (rechts).

Accupakketten en vermogens zijn significant groter dan die van personen EV's. Dit type voertuig zal afhankelijk van het laadsce­nario voornamelijk door DC-laadinfrastructuur worden geladen met vermogens tussen de 50 en 350 kW. Er wordt een wereldwijde standaard ontwikkeld [14] voor het realiseren van hogere laadvermogens tussen 1 en 4,5 MW. Deze vermogens zullen voornamelijk van pas komen voor interstedelijk en landelijk vrachtverkeer over langere afstanden, waarbij onderweg in korte tijd moet worden bijgeladen. ElaadNL verwacht de eerste laadlocaties van dit type tussen 2025 en 2030 [9].

Het batterijpakket is over het algemeen verwerkt achter de cabine, aan een of beide zijkanten van het voertuig. De onbeladen massa van een elektrische voertuig in de N3-categorie is mogelijk tot 2500 kg zwaarder dan een standaard ICE-model [15]. Dit komt voornamelijk door het gewicht van de batterijen. Dit kan zorgen voor een iets langere remweg (in onbeladen toestand). De acceleratie van een elektrisch voertuig is sneller dan een standaard ICE-model en de elektrische aandrijving zorgt voor een eenvoudigere besturing (schakelautomaat) met snelle acceleratie en wendbaarheid zonder vibratie en geluid. Een beladen EV mag volgens de categorie-eisen niet zwaarder zijn dan een beladen ICE-voertuig.



Figuur 2-4 Voorbeeld van het onderstel van een elektrische vrachtauto met de batterijpakketten aan beide zijkanten. Bron: Volvo.

2.2 Voertuigveiligheid

Voertuigveiligheid heeft in het geval van elektrificatie vooral betrekking op de massa, het zwaartepunt, de acceleratie en remweg van het voertuig die anders kunnen zijn vergeleken met een ICE voertuig. Logistieke voertuigen zijn net als personen-EV's uitgerust met geavanceerde systemen zoals een batterijmanagementsysteem (BMS) en noodremsysteem (AEBS). Ook autonoom rijden is in ontwikkeling, zo wordt er bijvoorbeeld gewerkt aan autonome trucks die in een vloot op de snelweg kunnen rijden ('*truck platooning*') [16].

2.2.1 Bestaand onderzoek

Er is momenteel een beperkt aanbod aan publieke literatuur die zich specifiek richt op de veiligheid van logistieke EV's. Het IFV heeft in 2016 een onderzoek laten uitvoeren naar de brandveiligheid van elektrische bussen [17]. Ook het rapport van CE Delft over ZE-bussen [2] gaat in op de voertuigveiligheid. In deze sectie worden hieruit parallellen met e-trucks getrokken.

Daarnaast zijn er berichten vanuit vrachtwagenfabrikanten (hierna: OEM's) zoals bv. Volvo en Scania waaruit blijkt dat voertuigveiligheid van e-trucks (cat. N2/N3) nog volop wordt doorontwikkeld. Het gaat dan om bijvoorbeeld botsings- of wegentesten [18].

2.2.2 Wet- en regelgeving, normen en veiligheidseisen

Elektrisch aangedreven voertuigen in de logistiek vallen net als elektrische personenvoertuigen onder de Wegenverkeerswet 1994, welke onder andere veiligheidstesten vereist. Voordat een voertuig de weg op mag is er een typegoedkeuring van de RDW nodig. Deze test zowel de auto als het productieproces op een reeks punten (bv. botsproeven, hellingproef, vermogen- en EM-stralingstesten) in overeenstemming met Europese wetgeving op het gebied van keuringseisen voor voertuigveiligheid, ECE R100 [19], die geldt voor zowel personenvoertuigen (cat. M) als logistieke voertuigen (cat. N).

De laatste versie van ECE R100 (ingegaan op 2016) stelt veiligheidseisen aan het batterijpakket in het EV. Dit moet succesvol getest zijn op een reeks van punten zoals mechanische schok en trillingen, temperatuur variaties, brandbestendigheid en kortsluiting. Er wordt momenteel door de overkoepelende organisatie voor Electric Vehicle Safety (EVS-GTR) gewerkt aan een nieuwe versie van de ECE R100 met aangepaste en aanvullende testen op het gebied van onder andere brandveiligheid, onderdompeling in water en schadelijke gassen.

Dit soort testen worden niet door de RDW uitgevoerd, maar door de batterijfabrikant of autofabrikant zelf. De testen kunnen wel door de RDW op locatie bij de fabrikant of elders worden gewitnessed. De RDW geeft testrapporten en certificaten af en accepteert daarnaast ook door andere aangewezen technische diensten afgegeven testrapporten en door andere goedkeuringsautoriteiten afgegeven certificaten.

Voor omgebouwde e-trucks geldt een eenmalige Nederlandse goedkeuring via de RDW, die verplicht is om de openbare weg op te mogen. Het voertuig wordt dan getest bij de RDW, onder andere met stralingsproeven, een hellingtest en een vermogenstest. Een individuele keuring geldt voor één voertuig en is alleen geldig voor registratie in Nederland. In overleg met de RDW kan een omgebouwde e-truck onder voorwaarden een permanente EU-goedkeuring krijgen. Exacte gelijkbouw valt in dit geval onder dezelfde goedkeuring, maar elk voertuig wordt wel nog ter plaatse gecontroleerd door de RDW. Ook in deze gevallen test RDW de batterijen niet, maar beoordeelt de certificaten en testrapporten van de bouwer en/of leverancier.

Naast de Europese normen bestaat er een reeks aan internationale normen en richtlijnen voor veiligheid van elektrisch vervoer [20], [21]. Deze zijn vooralsnog niet specifiek gericht op logistiek transport. De IEC werkt momenteel aan aanvullende standaarden die ook e-trucks dekken [22]. Publicaties zijn voorzien tussen eind 2021 en 2024. Dit is voor Nederland ondergebracht binnen de NEC 69. Een reeks van Nederlandse bedrijven actief in e-mobiliteit en laadinfrastructuur is hier lid van. Gerelateerde normen hebben met name betrekking op installatie en functionele eisen aan laadinfrastructuur [23], [20] en veilig werken (NEN 9140) [24].

Voor de carrosserie op trucks geldt dat de carrosseriebouwer toestemming moet hebben van de betreffende OEM. Daarnaast moet de OEM voldoende informatie over het voertuig verstrekken om de carrosserie veilig op het voertuig te bouwen.

2.2.3 Risico's

Nieuwsberichten van OEM's melden dat zij bezig zijn met het testen van hun EV's, bijvoorbeeld op botsveiligheid en batterijveiligheid, zie bijvoorbeeld [18]. Daarnaast is er een reeks Europese onafhankelijke testcentra die batterijpakketten testen aan de hand van de Europese eisen. Als logistieke EV's van OEM's, net als personen-EV's, succesvol getest en gekeurd zijn volgens de geldende Europese eisen, is er in algemene zin geen reden om aan te nemen dat deze voertuigen een additioneel risico vormen op de openbare weg ten opzichte van ICE-voertuigen. De huidige regels en de nieuwe ontwikkelingen van de ECE R100 geven aan dat op belangrijke EV-specifieke ontwerpeisen zoals brandveiligheid een doorlopende verbetering gaande is om potentiële risico's verder te verminderen.

In het geval van ombouw is het omgebouwde voertuig niet als zodanig vanuit de ontwerpfase al getest door de OEM. De RDW geeft een eenmalige goedkeuring af op basis van rijtesten die ook gelden voor ICE voertuigen en aanvullende testcertificatie (door derden) specifiek voor het batterijpakket en de elektrische aandrijflijn. Er is een potentieel risico dat de testdocumenten van de batterij niet voldoende zekerheid bieden voor de EV-toepassing, bijvoorbeeld omdat de scope van de gevraagde testen niet toereikend is voor het volledig afdekken van alle veiligheidsrisico's.

2.3 (Onzichtbare) beschadiging batterij

Het grootste zorgpunt bij Li-ion batterijen is de kans op een *thermal runaway*. Dit is een intern proces waarbij door een verhoogde temperatuur of stroom in de cellen van batterijen brand kan ontstaan, waarbij toxische gassen vrijkomen. Een beschadiging van de batterij of de cellen, bijvoorbeeld mechanische schade, tijdelijke oververhitting of een kortsluiting, verhoogt de kans op *thermal runaway*. Deze schade kan van buitenaf onzichtbaar zijn. Het is dus van belang om schade van de batterij te voorkomen en om eventuele toch opgetreden schade te kunnen detecteren.

Anders dan bij stationaire of industriële batterijsystemen is de omhulling van een autobatterij veel meer gericht op de mechanische bescherming tegen negatieve invloeden tijdens het rijden met het voertuig. Autobatterijen zijn dus zeer goed ingepakt en het risico op schade door zaken als botsing, voorwerp/steen, schrapen over een drempel is zeer klein. OEM's besteden veel aandacht aan hoge kwaliteit van de cellen en batterijpakketten (uitvoerig geteste technologie van gerenommeerde merken), het batterijmanagementsysteem (BMS) en integratie van het batterijpakket in het EV. Ook wordt steeds meer vloeistofkoeling van de EV-batterij toegepast: dit is beter voor de levensduur, maar ook voor de veiligheid [25].

Bovenstaande geldt voor alle EV's: personen-EV, e-bus en e-truck. De OEM's richten hun aandacht vooral op personen-EV's, maar dezelfde batterijkwaliteit (o.a. cellen van topmerken, maximale controle door het BMS en robuuste inbouw) zal ook worden ingezet voor bussen en trucks (mogelijk kunnen zelfs twee batterijpakketten uit het ontwerp van een personen-EV in een e-truck toegepast worden). Er worden dan ook geen extra problemen bij batterijen voor elektrische vrachtauto's verwacht. Gezien het gewicht van het voertuig, kan er indien nodig nog iets extra's aan batterijbescherming worden toegevoegd, bijvoorbeeld een dikkere omkasting, zonder gevolgen voor de gewichtsverdeling van het voertuig.

Net als bij personen-EV's moeten batterijen van e-trucks aan de strenge *automotive* normen voldoen, zoals vastgelegd in Advanced Product Quality Planning (APQP) van de Automotive Industry Action Group (AIAG) [26], de norm IATF 16949:2016 – Kwaliteitsmanagementsysteem voor de auto-industrie [27], en kwaliteitsafspraken tussen OEM's en hun toeleveranciers. Dit zijn onder andere eisen voor botsveiligheid, schok en trillingen, elektrische veiligheid en aantoonbare veiligheid van de regelsystemen (zoals het BMS). Bij retrofits is dit volgens enkele geïnterviewden niet altijd volgens dezelfde normen geregeld (omdat de minimale eisen minder ver gaan dan deze APQP-normen). Daarom

zou hier de keuring streng(er) moeten zijn, bijvoorbeeld ten minste een visuele inspectie van de bevestiging van de batterij en de bekabeling en een controle van de functionele beschrijving van de BMS-functies en het koelsysteem.

Het BMS heeft sensoren tot zijn beschikking om de toestand van de batterij te bepalen. Dit heeft vooral betrekking op de operationele laadtoestand, maar ook op zijn veiligheidstoestand. Zo kunnen afwijkende celspanningen of temperaturen in het batterijpakket een signaal voor een onzichtbare schade zijn. Ook kunnen schok- of trillingssensoren in de batterij informatie geven over eventuele abnormale omstandigheden. Deze oplossingen worden reeds gebruikt in personen-EV's en zullen niet anders zijn voor e-trucks.

2.3.1 Bestaand onderzoek

Het EV-onderzoek van CE Delft [1] gaat in op beschadiging van de batterij, met name gerelateerd aan voertuigbotsingen (zie ook 2.2). Ook vermeldt dit onderzoek dat het BMS de veiligheidstoestand van de batterij kan bewaken. Echter, dit is vooral expertise die bij de OEM's aanwezig is en die niet openbaar beschikbaar is. DNV heeft geen aanvullende onderzoeken gevonden die specifiek voor e-trucks gelden.

2.3.2 Wet- en regelgeving, normen en veiligheidseisen

Batterijveiligheid, waaronder het voorkomen van beschadiging, neemt een belangrijke plaats in in de Europese Green Deal. In de Green Deal Sustainable Batteries wordt dit ook benoemd [28]: "Batteries placed on the EU market should become sustainable, high-performing and safe all along their entire life cycle." De voorgestelde nieuwe Batterijen Verordening [29] sluit hierbij aan.

In het rapport van CE Delft wordt een aantal normen genoemd betreffende veiligheid van EV's en EV-batterijen. Hiervan zijn vooralsnog geen updates gepubliceerd. In de normen worden weinig eisen gesteld aan het BMS, behalve dat het de veiligheid moet waarborgen. Hierin zouden nog verbeteringen in te maken zijn, bv. door te eisen dat het BMS een 'schaderapport' van de batterij moet bijhouden.

Bovenstaande regels en normen zijn niet specifiek gericht op e-trucks, maar gelden voor EV's in het algemeen.

CE Delft verwijst ook naar de PGS 37 over batterijveiligheid die in ontwikkeling is en zijn voorloper de Circulaire EOS. Hierin is expliciet vermeld dat deze niet van toepassing zijn op EV's. Evenals in de normen en regels voor EV-batterijen, komen in de PGS 37 en de Circulaire veiligheidsmaatregelen aan de orde zoals traceerbaar kwalitatief goede cellen, BMS-functies, koeling, voldoende afstand tussen eenheden, mechanische bescherming en informatievoorziening aan hulpdiensten. De normen en regels voor EV-batterijen zijn concreter en strenger dan die van PGS 37 en de Circulaire.

2.3.3 Risico's

Een beschadigde batterij kan uiteindelijk leiden tot thermal runaway met giftige rook en brand tot gevolg. Thermal runaway is het zichzelf versterkende proces van ongewenste chemische reacties (door interne schade) in de batterij die gepaard gaan met extreme warmteontwikkeling. Tevens kan batterijschade leiden tot elektrische gevaren, zoals kortsluiting of elektrische schok. Omdat er nog te weinig praktijkonderzoek is gedaan, is nog niet te zeggen of deze risico's bij logistieke EV's groter zijn dan bij personen-EV's.

Voor alle EV's geldt: hoe herken je een intern beschadigd batterijpakket (zonder externe afwijkingen)? Vermoedelijk zijn OEM's al bezig om hiervoor het BMS slimmer te maken, maar hierover is geen openbare informatie beschikbaar (en de geïnterviewden hebben hierover geen informatie). Het verdient aanbeveling om meer aandacht te besteden in normen en regelgeving aan deze geavanceerde BMS-functies om de batterij veiliger te maken. Dit zal ook de retrofit-bedrijven helpen om de batterij beter en veiliger te laten functioneren.

2.4 Brandveiligheid

Branden in elektrische voertuigen kunnen, wanneer de batterij betrokken is bij de brand, een grote impact hebben op het voertuig en zijn omgeving, temeer daar ze moeilijker uit te doven zijn dan voertuigen met een verbrandingsmotor. Standaarden en regelgeving, evenals een correct ontwerp en gebruik, dragen bij aan adequate vermindering en/of mitigatie van de risico's.

Een brand kan ontstaan in het batterijpakket van het voertuig door interne fouten, zoals intern celfalen of oververhitting, kortsluiting of overladen. Een andere mogelijkheid is dat een externe factor een brand veroorzaakt: Branden kunnen elders in het voertuig ontstaan, er kan een externe brand zijn (bv. in een benzinevoertuig) of een mechanische impact, zoals een botsing of incident op een bouwplaats. Bij een thermische runaway komen brandbare en giftige gassen vrij uit de batterij, die een mogelijk brand- of explosierisico vormen. De eisen en maatregelen zijn niet anders dan bij e-bussen.

Brandveiligheid bij laden wordt behandeld binnen "Laadinfrastructuur".

2.4.1 Bestaand onderzoek

Er is geen specifiek onderzoek dat zich richt op voertuigen in de logistieke sector bij DNV bekend. Het meest relevant is het rapport van IFV over brandveiligheid van e-bussen [17].

2.4.2 Wet- en regelgeving, normen en veiligheidseisen

De brandveiligheidseisen aan batterijen zijn gelijk voor personen-EV's, e-bussen, e-trucks, etc. Zie ook sectie 2.2.2. Zoals in hoofdstuk 2.2 beschreven werkt de Global Technical Regulation Electric Vehicle Safety aan Revisie 3 van de ECE R100 regulation [30]. Hierin komen naar verwachting aanvullende testen op het gebied van brandveiligheid, brandpropagatie, onderdompeling in water, etc.

2.4.3 Risico's

2.4.3.1 Brandlast

De risico's bij een brand van een personen-EV worden gelijk ingeschat aan die van een ICE-voertuig, zoals blijkt uit onderzoeken aangehaald door CE Delft [1]. Het gaat om een vergelijkba(a)r(e) temperatuurverloop, brandlast en hoeveelheid en aard van de toxische gassen. Een van de redenen hiervoor is het feit dat ook andere onderdelen van het voertuig meebranden (bv. hydrauliek, bekleding, kunststof onderdelen, plaatmateriaal). Hoewel het verloop van een ongestoorde brand vergelijkbaar is, is een nadeel van een Li-ion-brand dat de brand opnieuw kan opblazen na het blussen van de vlammen, en dat er ook uren later nog een herontbranding kan plaatsvinden [31], [32], [33], [34], [35], [36]. Dit betekent dat er meer bluswater en mankracht nodig is om een Li-ion-brand onder controle te krijgen. IFV geeft aan dat voor bussen ook geldt dat het brandverloop en de brandlast van elektrische en dieselveertuigen vergelijkbaar zijn [17]. Naar verwachting geldt hetzelfde voor logistieke voertuigen. Er is nog meer onderzoek nodig voor e-bussen en e-trucks om de overeenkomsten en verschillen tussen EV en niet-EV verder te kwantificeren. Een complicerende factor kan nog zijn dat batterijpakketten in logistieke voertuigen zich op meerdere plaatsen in en op het voertuig kunnen bevinden.

CE Delft laat ook zien dat incidenten met personen-EV's minder vaak voorkomen dan met brandstofauto's, ook wanneer gecorrigeerd wordt voor de lagere aantallen die op dit moment rondrijden [1]. Het is door de nog kleinere aantallen nog onduidelijk of dit ook het geval zal zijn voor e-trucks of e-bussen.

Bij logistieke voertuigen kan de getransporteerde lading ook een invloed hebben op de brand van het voertuig, afhankelijk van het type lading. Een brand in de lading kan leiden tot een brand van de brandstof of de batterij. Andersom kan een brand van de brandstof of de batterij overslaan naar de lading. DNV heeft hierover geen onderzoeksliteratuur gevonden. In eerste instantie zal de OEM vooral moeten kijken naar een risicoanalyse van deze situatie. Daarin geldt zowel bij het ICE-voertuig als bij een EV dat door constructieve afschermingen een brand in het aandrijfsysteem niet makkelijk kan overslaan naar de lading (en niet naar de cabine).

2.4.3.2 Inrichting

Op een logistiek terrein (al dan niet overdekt) kunnen grote aantallen elektrische vrachtwagens naast elkaar staan. Er is nog weinig kennis en ervaring met het bepalen van veilige afstanden tussen voertuigen om brandpropagatie te voorkomen. Het behoeft de aanbeveling richtlijnen te ontwikkelen over de toegestane afstanden ter voorkoming van brandoverslag naar een naastgelegen voertuig. Daarvoor zal allereerst meer kennis moeten worden opgedaan.

2.5 Incidentmanagement

Incidentmanagement met zware elektrische voertuigen vergt een andere aanpak dan bij personen-EV's. In grote lijnen is de karakteristiek van de aanpak van een brand in lijn met personen EV's [1]: afstand houden, systeem uitschakelen, koelen met grote hoeveelheden water, rekening houden met thermal runaway, rekening houden met herontsteking, de handelingen van identificatie van situatie en voertuigtype en spanningsvrij maken. Het grote verschil is echter dat het accupakket significant groter is, waardoor er meer energie aanwezig kan zijn in het accupakket, dat de grotere voertuigen niet in een dompelpak en/ of salvagecontainer passen en dat een deel van de voertuigen ombouwvoertuigen zijn.

De gevaren voor de hulpverlener zijn bij incidenten met logistieke EV's hetzelfde als bij personen-EV's. De kans op een elektrische schok bij hulpverlening is zeer klein. De kans dat er spanningsvoerende delen van de batterij blootliggen is namelijk klein. Daarnaast bieden bestaande brandweerhandschoenen en -uniformen voldoende elektrische bescherming, zelfs tegen het hoge batterijvoltage van maximaal 1000 V [37].

De brandweer gebruikt *rescue sheets* [38] om de relevante informatie tijdens incidentmanagement paraat te hebben. De EURO-NCAP eis, een vier pagina tellend informatiedocument, is alleen voor personen-EV's beschikbaar. Het door de brandweer gebruikte Moditech crash recovery system [39] maakt inzichtelijk waar de gevaarlijke onderdelen zitten en bevat ook informatie over elektrische busjes en trucks, maar dit is niet volledig.

Bij zware aanrijdingen kan de accu van een EV beschadigd raken en spontaan vlamvatten. Het incidentmanagement van elektrische personenvoertuigen op hoofdwegen is sinds 1 juni 2021 geregeld [40]. Er is een werkwijze ontwikkeld voor veilige berging van een EV. Dit kan gebeuren met een open dompelpak, die een geblust EV onder water kan zetten, of met een salvagecontainer, een gesloten container met een blussysteem stand-by, gebruikt voor EV's waarvan de batterij nog onbeschadigd lijkt. Helaas zijn deze containers te klein voor e-bussen of e-trucks. Voor deze grotere EV's zullen dus alternatieve bergingsmethoden onderzocht moeten worden, zoals ook CE Delft concludeert in zijn onderzoek naar de veiligheid van e-bussen [2]. Op kleine schaal wordt reeds gekeken naar verschillende blusmethoden [41].

De bestaande generieke procedure voor EV's heeft een update nodig voor elektrische logistieke voertuigen, zowel voor instructies voor de chauffeur als voor handelingsperspectieven voor incidentbestrijders en bergers.

Incidentmonitoring

Er hebben nog nauwelijks incidenten met elektrische vrachtwagens plaatsgevonden, hooguit een aantal *near misses*, d.w.z. kleine botsingen zonder noemenswaardige schade. Dit komt met name door de huidige beperkte aantallen logistieke EV's. Het IFV monitort sinds januari 2021 incidenten met alternatief aangedreven voertuigen [42]. De database wordt aan de hand van een vragenlijst gevuld met de gegevens van incidenten met alternatief aangedreven voertuigen (AAV) en de bestrijding ervan. Het gaat hierbij om incidenten waarbij de brandweer betrokken is geweest. De Teams Brandonderzoek (TBO) van de brandweer gebruiken de vragenlijst niet alleen voor onderzoek ter plaatse, maar ook voor het nabellen van het incident bij de betrokken bevelvoerder, officier van dienst of adviseur gevaarlijke stoffen. Het is hierbij belangrijk inzicht te krijgen in het toedracht en verloop van een incident. Deze '*lessons learned*' zouden breed moeten worden gedeeld en gebruikt kunnen worden om de technologie te verbeteren, effectieve veiligheidseisen te stellen, processen te verbeteren en goede voorlichting/ cursussen, zodat mensen zich beter bewust zijn waar de gevaren zitten en zich veiliger gedragen.

Er wordt een koppeling gemaakt tussen de data uit het GMS (Geïntegreerd Meldkamer Systeem) en de data uit de STAR (Smart Traffic Accident Reporting)-ongevallendatabase van verkeerskundig ICT-bureau VIA. VIA houdt, in opdracht van de politie en het Verbond van Verzekeraars, alle verkeersongevallen in Nederland bij. Door deze koppeling kunnen zo veel mogelijk verkeersongevallen met alternatief aangedreven voertuigen worden achterhaald. Deze data worden verzameld in het online dashboard, die de belangrijkste cijfers weergeeft [43]. Het dashboard beperkt zich tot incidenten waarbij de brandweer is betrokken, onze aanbeveling is dat deze database wordt uitgebreid met de gegevens van verzekeraars, zodat ook leerpunten van near misses kunnen worden meegenomen. Het is echter de vraag in hoeverre dit praktisch uitvoerbaar is en welke organisatie hierin de leiding kan nemen.

2.5.1 Bestaand onderzoek

Kurt Vollmacher (brandweer België) heeft met ondersteuning van een internationaal team van experts adviezen opgesteld die relevant zijn voor personenvoertuigen en lichte bedrijfsvoertuigen [44]. Hij heeft als projectleider bij ISO/TC22/SC36/WG 7 meegewerkt aan het opstellen van wereldwijde standaardisering op het gebied van veiligheidsinformatie van EV's. Dit document is tot stand gekomen door een samenwerking van internationale experts, die d.m.v. interviews de kennis en ervaring van 425 hulpverleners uit verschillende landen hebben verzameld. Vanuit de hulpverleners is er behoefte aan duidelijke herkenning van en informatie over alle EV's op de openbare weg. Het document doet aanbevelingen voor herkenningstekens op het EV en zijn batterij, uniforme en wereldwijd beschikbare informatie over elk EV, een uniform en eenvoudig uitschakelsysteem geïnstalleerd op dezelfde plaats in alle EV's, systemen die batterijen snel kunnen blussen, veiligheidshulpmiddelen en procedures om veilig om te gaan met hoge spanningen en energie, en richtlijnen hoe om te gaan met EV's op parkteerterreinen. Het grootste deel van de door Vollmacher *et al.* geïnterviewde hulpverleners heeft zelf nog geen brand met elektrisch aangedreven voertuigen meegemaakt, maar maakt zich wel zorgen. Juist door beperkte ervaring in de praktijk is het risico op verkeerd handelen aanwezig.

De aanbevelingen die worden gedaan in de rapportage zijn [44]:

- Duidelijke herkenningstekens aanbrengen op elektrische voertuigen en hun batterijen
- Gestandaardiseerde technische oplossingen voorschrijven, met een uniforme plaats voor de batterijpakketten en een uniform en eenvoudig te bedienen uitschakelsysteem voor alle EV's voor elektrisch veiligstellen.
- Gestandaardiseerde procedures bij hulpverlening en brandbestrijding

Deze aanbevelingen zijn relevant voor de logistieke elektrische voertuigen, vanwege de beperkte herkenbaarheid van de ombouwvoertuigen en de onduidelijkheid met betrekking tot de locatie van de batterijpakketten.

2.5.2 Wet- en regelgeving, normen en veiligheidseisen

Er is geen specifieke wet- en regelgeving voor elektrische voertuigen in de logistiek.

2.5.3 Risico's

2.5.3.1 Beschikbaarheid informatie

De EURO-NCAP [45] eist een 4 pagina's tellend informatiedocument over de risico's van personen-EV's, maar niet voor e-bussen en e-trucks. In het Moditech crash recovery system zijn wel vrachtwagens opgenomen, maar deze inhoud is niet volledig. Ook Vollmacher *et al.* ziet een gebrek aan uniformiteit in de informatievoorziening en pleit voor een wereldwijd geharmoniseerd informatiesysteem [44].

BOVAG geeft aan te werken aan een systeem om informatie over voertuigen door te geven binnen de keten (carrosseriebouwer, dealer, garage etc.). Deze veiligheidsinformatie, zoals informatie over de locatie van de accu, willen ze verzamelen of laten invullen via de dealers en carrosseriebouwers en beschikbaar gaan maken voor hulpverleners, mogelijk door middel van een QR-code op het voertuig.

2.5.3.2 Kennisdeling

In de huidige situatie laten auto-leveranciers niet altijd toe dat er een onafhankelijk onderzoek wordt uitgevoerd naar incidenten, waarvan de leerpunten zouden kunnen worden opgenomen in normen en standaarden. Het is belangrijk dat geleerde lessen breder worden gedeeld dan bij de EV-leverancier intern.

2.5.3.3 Ervaring

Er is veel diversiteit bij (logistieke) EV's, wat betekent dat bij ieder incident de informatiedocumenten moeten worden gedownload en geïnterpreteerd. Een meer uniform handelingsprotocol zou het handelen kunnen versnellen. Daarnaast is elke Veiligheidsregio zelf verantwoordelijk voor training en opleiding van personeel. De uitdaging daarbij is dat er met vrijwilligers wordt gewerkt, dus is er slechts beperkt ruimte en tijd beschikbaar om hulpverleners voldoende op te leiden. Om die reden zijn er in elke veiligheidsregio experts aangesteld, die de kennis en ervaring beheren. Kennisopbouw en opleiden van mensen kost tijd, daarom is het van belang dat dit reeds nu wordt ingezet, voordat logistieke EV's grootscheeps worden uitgerold.

2.5.3.4 Terminologie

Het valt op dat de terminologie voor hoog- en laagspanning in de autosector en de elektriciteitssector verschillend wordt gebruikt. Volgens NEN 1010 [23] wordt met laagspanning bedoeld: wisselspanning tot 1000 V AC en gelijkspanning tot 1500 V DC. Deze laagspanning en de spanning bij elektrische voertuigen is echter NIET aanraakveilig. Een spanningsniveau onder 50 V AC of 120 V DC is volgens NEN 3140 / EN 50110 [46] niet gevaarlijk. In de autowereld wordt met laagspanning gerefereerd naar een gelijkspanning tot 48 VDC. De batterij voor de aandrijving, met een spanning tussen 200 VDC en 1000 VDC, wordt aangeduid als hoogspannings- of hoogvoltagebatterij.

2.5.3.5 Dompel- en salvagecontainers

Er is nog geen oplossing om een verbrande e-truck (of e-bus) langdurig veilig te stallen: de grotere voertuigen passen niet in de dompel- en salvagecontainers. Voor berging op de snelweg ligt deze verantwoordelijkheid bij Rijkswaterstaat. De aanbeveling is om protocollen en middelen te ontwikkelen voor veiligstellen van e-trucks.

De oplossing kan in verschillende richtingen worden gezocht.

- 1) De OEM moet maatregelen nemen, zodat een eventuele batterijbrand niet naar de lading en de aanhanger kan overslaan, en ook niet naar het bestuurderscompartiment.
- 2) Alternatieve methodes ontwikkelen om bluswater bij de batterij te krijgen
- 3) Protocollen ontwikkelen voor veiligstellen van een voertuig, gedurende en na de brand, zodat de werkzaamheden van de hulpverleners en het overige verkeer zo min mogelijk gehinderd worden.

2.5.3.6 Voorlichtingssessies

Tijdens de interviews kwam naar voren dat er een groot verschil is tussen e-bussen en e-vrachtwagens m.b.t. voorlichting. Omdat bussen vaak in een bepaalde gemeente rondrijden, kan er door de OEM's eenvoudig een informatieochtend worden georganiseerd voor de lokale brandweer. Een e-vrachtwagen rijdt echter rond in meerdere gemeenten, waardoor een dergelijke aanpak niet werkt.

2.6 Afgesloten ruimte

Tunnels zijn deel van de openbare weg en mogen dus gebruikt worden door alle voertuigen met een regulier kenteken (er is echter wel regulering voor bulktransport van brandstof). Eventuele calamiteiten in tunnels met batterijbranden kunnen een grotere impact hebben in een tunnel dan branden met ICE-voertuigen. De (kortstondige) intensiteit van een batterijbrand kan mogelijk de tunnelwand beschadigen, bluswater is mogelijk vervuild en eventuele toxische en explosieve gassen moeten veilig worden afgevoerd.

De verwachting is dat logistieke en bouwvoertuigen niet of nauwelijks in garages zullen komen te staan, maar met name EV's in tunnels is een punt van aandacht.

Nederlandse bouwregelgeving, normen en richtlijnen zijn gebaseerd op kenmerken van branden met conventionele voertuigen. Moderne voertuigen hebben echter, mede door het gebruik van veel kunststoffen, een hogere brandlast en brandvermogen dan de oudere stalen modellen. De laatste decennia komen daar ook nog eens de elektrische auto en het opladen daarvan bij [47]. De onderzoeken naar tunnelbranden verdienen daarom een update voor de impact van moderne voertuigen, inclusief batterij-elektrische voertuigen.

2.6.1 Bestaand onderzoek

Er is geen onderzoek bekend bij DNV wat zich specifiek richt op e-trucks. De studie van IFV over de brandveiligheid van e-bussen in tunnels [17] geeft aan dat een personen-EV-brand niet noemenswaardig verschilt van een ICE-voertuigbrand, betreffende de brandlast en de hoeveelheid toxische stoffen. Maar IFV stelt wel dat dezelfde vergelijking voor bussen (of vrachtauto's) nog niet is uitgevoerd. Brandtesten uitgevoerd in het FFG-gesubsidieerde project "BRAFA – fire effects of vehicles with alternative drive systems" [48] hebben aangetoond dat Oostenrijkse tunnels geschikt zijn voor EV's [49]. Dit onderzoek richtte zich op personen-EV's, e-trucks waren niet in scope. De onderzoekers concludeerden dat er een dringende noodzaak is voor verder onderzoek naar tunnelbranden met e-trucks. Ook Mellert et al. [50] richtten zich op risico's van brandende elektrische voertuigen in tunnels en concludeerden dat de modernste tunnelventilatiesystemen de brandlast aankunnen, maar e-trucks waren wederom niet in scope en een onderwerp voor nader onderzoek.

2.6.2 Wet- en regelgeving, normen en veiligheidseisen

Opslag van brandbare stoffen is een onderwerp dat is uitgewerkt voor autobrandstoffen in PGS 26 en voor waterstof in PGS 35. Er wordt ook gewerkt aan PGS 37 voor "Lithium-ion accu's: opslag en buurtbatterijen". Deze gaat niet over elektrische voertuigen met batterijen, maar er staan wel algemeen bruikbare aanbevelingen in die ook voor elektrische *heavy duty*-voertuigen nuttig zijn.

2.6.2.1 Tunnels

In het kader van de Wet aanvullende regels veiligheid wegtunnels (Warvw) beheert RWS QRA-Tunnels. Hierin zijn de eerste berekeningen voor waterstofbussen uitgevoerd. De aanbeveling is een soortgelijke analyse ook te ontwikkelen voor elektrische logistieke voertuigen. Een van de beperkende factoren is dat de onderliggende data, om een dergelijke QRA te onderbouwen nog nauwelijks statistische onderbouwing kan bieden.

Verder zal kennis van de specifieke gevaren van elektrische vrachtauto's (en bussen) in tunnels opgebouwd moeten worden om de tunnelveiligheid voor deze EV's goed te kunnen beoordelen. Het gaat hierbij vooral om de fysische aspecten van brandende batterijen van vrachtauto's en bussen (brandvermogen, maximale temperatuur, hoeveelheid giftige stoffen, het verloop van de brand(piek)) [17] en de relatie met het branden van de overige onderdelen van het voertuig (bv. hydrauliek, bekleding, kunststof onderdelen, plaatmateriaal).

Ook incidentmanagement in tunnels is een belangrijk aandachtspunt. De kennis van de specifieke gevaren van elektrische vrachtwagens in tunnels moet vervolgens worden vertaald naar handelingsperspectieven. Wanneer accupakketten op een moeilijk bereikbare locatie zijn geplaatst, kan het blussen (ook in tunnels) moeizamer en langzamer verlopen. Indien het accupakket bij een elektrische vrachtwagen bijvoorbeeld aan de onderkant is geplaatst, kan het nodig zijn dat het voertuig moet worden gekanteld door de brandweer om adequaat te kunnen blussen, wat lastig is bij grote voertuigen.

2.6.2.2 Garages

Momenteel is er veel aandacht voor de brandrisico's van personen-EV's in parkeergarages, waaronder ook e-bestelbusjes (categorie N1). In de bestaande regels voor parkeergarages zijn nog geen specifieke brandveiligheidseisen opgenomen voor elektrische voertuigen en laadvoorzieningen [51]. Het Ministerie van BZK is voornemens om voor nieuwe parkeergarages een aantal voorschriften toe te voegen, waarvoor de internetconsultatie op 15 augustus 2021 is gesloten [52]. De nieuwe voorschriften bevatten naar verwachting bepalingen over laadpalen in parkeergarages. In enkele landen (bv. Frankrijk [53]) bestaan regels voor parkeergarages, die bijvoorbeeld EV-

laadpunten alleen direct bij de ingang op niveau 0 en 1 toestaan. Een geparkeerd EV dat opgeladen wordt heeft geen hoger brandrisico dan een geparkeerd EV dat niet wordt opgeladen volgens RISE [54].

Soortgelijke overwegingen spelen bij stalling en opladen van logistieke EV's in overdekte stallingen. Er zouden regels moeten worden opgesteld over de positie van de laadpunten in het gebouw en de hoogte van het gebouw. Het ligt niet voor de hand dat een (flat)gebouw boven op een dergelijke stalling wordt gebouwd, dus aspecten als gevolgschade voor de draagconstructie zijn minder relevant.

2.6.3 Risico's

2.6.3.1 Geschikte apparatuur

Een groot risico bij een (EV-)brand in afgesloten ruimtes is de opeenhoping van rook, waardoor de situatie praktisch onzichtbaar wordt voor de hulpverleners. Bij de brand in een parkeergarage in Alkmaar (1 juli 2020) werden blusrobots opgeroepen en kon een transportrobot van de politie ondersteuning bieden bij de berging van een EV [55]. Ook voor incidenten in tunnels zou een robot ondersteuning kunnen bieden voor een goede inschatting van de situatie en een veilige afhandeling.

2.7 Laadinfrastructuur

Voor logistieke EV's met vermogens tot en met 350 kW wordt gebruik gemaakt van dezelfde laadinfrastructuur (AC en DC) als die van personen-EV's. Bedrijven verwachten dat opladen voornamelijk zal plaatsvinden op private of semi-publieke laadinfrastructuur, d.w.z. op (eigen) bedrijfsterrein [56]. Afhankelijk van de netcapaciteit op deze locaties en het type truck kan er gekozen worden voor (een combinatie van) AC en DC laadinfrastructuur. Over het algemeen zijn vermogens tot 50 kW voldoende voor depotladen in de nacht en zijn hogere vermogens tussen de 50 en 350 kW nodig voor snelladen overdag of onderweg [57]. Laadinfrastructuur voor privaat en publiek terrein is gebaseerd op dezelfde standaarden en protocollen. Bij juiste toepassing en gebruik van de laadinfrastructuur is er geen additioneel veiligheidsrisico te identificeren voor het laden van logistieke voertuigen t.o.v. personenauto's.

In de interviews werd opgemerkt dat voor het opladen van logistiek vervoer de kwaliteit van de bestaande installatie soms tekort komt. De vermogensvraag van een logistiek voertuig is vanwege de grotere batterij over het algemeen groter dan die van personen-EV's en de laadtijdsduur langer, het is daarom van belang dat hiermee rekening wordt gehouden in de installatie (correcte dimensionering van kabels en schakelaars) die moet worden uitgevoerd volgens NEN 1010.

Voor de categorie N3 kunnen mogelijk hogere vermogens nodig zijn dan 350 kW, vergelijkbaar met het laden van bussen. In het geval van *opportunity charging* (kortstondig laden) worden e-bussen geladen via een pantograaf met vermogens tot 600 kW. De fysieke pantograaf-koppeling is specifiek ontwikkeld voor e-bussen, maar zou ook voor e-trucks beschikbaar gemaakt kunnen worden. De communicatie tussen lader en voertuig is draadloos, maar het gebruikte protocol is IEC 61851-1 of ISO 15118, zoals bij de standaard DC-laadpalen. Er is momenteel een wereldwijde standaard (*Megawatt Charging System*, MCS) in ontwikkeling die laden met vermogen tussen de 1 en 4 MW mogelijk moet maken [14]. Een dergelijk publiek MCS-netwerk kan dienen als back-up voor de logistieke sector. Dit is onder andere ondergebracht in de basiseisen van de Topsector Logistiek.

Een andere optie voor het laden van vrachtauto's vormen laadstations langs de snelweg of andere doorgaande wegen. De laadpunten bevinden zich dan vaak op het terrein van bestaande tankstations of vrachtwagenparkeerplaatsen. In het geval van tankstations wordt de combinatie wordt aangeduid met de term Multi-Fuel Tankstation (MFT), in het Engels *Multi-Energy Station*, MES [58]. Belangrijkste aandachtspunt voor de veiligheid is de inpassing van de laadpunten in de buurt van de explosiegevaarlijke zones (ATEX-regels) [59]. Dit is bij logistieke EV's niet anders dan bij personen-EV's. Het is van belang dat laadinfra voor de logistiek aan de juiste ruimtelijke eisen voldoet. Voor wat betreft veiligheid gaat het hier voornamelijk om obstakelbescherming in de vorm van het aanbrengen van wielblokkades en aanrijdbeveiliging (bijvoorbeeld bollards) en een doorrijhoogte van minimaal 4.2 meter [11].

2.7.1 Bestaand onderzoek

Er is sinds de introductie van personen-EV's een reeks aan bestaand onderzoek naar laadinfrastructuur, inmiddels ook voor de logistieke sector [12] [60] [11] [61]. Het gaat hier met name om het aanbod en soort laadinfrastructuur dat vereist is voor een dekkend netwerk. Veiligheidsaspecten worden afgedekt door het gebruik van internationale standaarden en protocollen die ontwikkeld zijn voor de personen-EV-industrie en 1-op-1 overgenomen door de logistieke sector (bv. het Combined Charging System (CCS) voor DC laden).

2.7.2 Wet- en regelgeving, normen en veiligheidseisen

De voornaamste normen voor laadinfrastructuur zijn IEC 61851 – *Electric vehicle conductive charging system* [62] en IEC 62196 – *Plugs, socket-outlets, vehicle connectors and vehicle inlets – Conductive charging of electric vehicles* [63]. Alle huidige laadpalen en -kabels/stekkers voldoen aan deze normen. Het MCS, dat momenteel nog in ontwikkeling is, kan vanwege de hoge vermogens worden gezien als een standaard specifiek voor de logistieke sector.

Naast een correcte installatie volgens NEN 1010 is er minimaal één keer per jaar een veiligheidsinspectie / onderhoud nodig (geldt algemeen voor alle EV-laadinfra). Dit is niet centraal geregeld of verplicht maar de meeste charge point operators (CPO's) volgen deze richtlijn.

2.7.3 Risico's

Bij correct gebruik is er met betrekking tot de laadinfrastructuur zelf geen additioneel veiligheidsrisico t.o.v. personen-EV's aangezien de laadinfrastructuur gebaseerd is op dezelfde standaarden en protocollen. Het is belangrijk dat werknemers volledig op de hoogte zijn van het gebruik van de laadinfrastructuur door middel van bijvoorbeeld een korte training.

In het geval van brand is er met hoge vermogens zoals toekomstige installaties van 1 tot 4 MW een mogelijk electrocutierisico voor brandweerpersoneel bij knippen en blussen [64]. Het doorknippen van de laadkabel dient vermeden te worden en pas als de installatie spanningsloos is gemaakt, kan er indien nodig worden geblust.

Mogelijke risico's gerelateerd aan het laadstation zijn aanrijding van de laadinfrastructuur en overbelasting van de elektrische installatie. Laadpalen kunnen door zwaardere logistieke voertuigen makkelijker omver worden gereden dan door personen-EV's. Dit geldt zeker op depots waar veel trucks op een relatief kleine ruimte manoeuvreren. Er ontstaat een veiligheidsrisico als na aanrijding de bekabeling bloot komt te liggen en er nog spanning staat tussen het laadpunt en de netaansluiting. Dit kan worden voorkomen door de installatie uit te voeren met de juiste aanrijdbeveiliging zodat deze niet makkelijk omver kan worden gereden, en het laadpunt zo uit te voeren dat deze zelf de stroom afschakelt op het moment van een aanrijding of een ander incident.

Er is een risico op overbelasting van de installatie als deze niet correct gedimensioneerd en geïnstalleerd is. De mogelijkheid hierop is bij e-trucks groter dan bij personen-EV's vanwege de langdurige energievraag op hoog vermogen. Het is van belang dat installaties worden uitgevoerd volgens de NEN1010 norm, idealiter door installatiebedrijven met ervaring in het installeren van laadinfrastructuur.

2.8 Geluid en afwezigheid daarvan

Bij logistieke ICE voertuigen produceert de motor een significante hoeveelheid geluid. Bij elektrificatie van de aandrijving valt dit geluid weg. Elektrische voertuigen worden daarmee in het geval van lagere snelheden minder snel opgemerkt, wat vooral voor bestelwagens en grotere vrachtwagens een extra veiligheidsrisico met zich mee kan brengen.

2.8.1 Bestaand onderzoek

Er is een reeks aan onderzoek beschikbaar EV's en geluid (zie bv. [65]). Dit richt zich niet specifiek op logistieke voertuigen.

2.8.2 Wet- en regelgeving, normen en veiligheidseisen

EU-regelgeving verplicht vanaf juli 2021 voor elk nieuw elektrische of hybride aangedreven voertuig met 4 wielen een Acoustic Vehicle Alerting System (AVAS). Deze regelgeving geldt daarmee ook voor logistiek vervoer.

Deze regelgeving houdt in dat wanneer een elektrische auto trager dan 20 kilometer per uur rijdt, deze (ook bij het achteruitrijden) een geluid moet produceren tussen 56 en 75 decibel (dB). Dat is meestal een soort zoemend of brommend geluid (geen alarmsignaal) met verschillen tussen rijden, achteruitrijden en ook stilstaan. Het soort geluid kan verschillen per OEM. Bij snelheden hoger dan 20 kilometer per uur maakt een EV uiteindelijk voldoende geluid door de banden en de wind en is een dergelijk systeem niet meer nodig.

2.8.3 Risico's

Uit interviews blijkt dat de terugkoppeling van chauffeurs over de afwezigheid van geluid bij logistieke EV's voornamelijk tweeledig is. Chauffeurs zelf horen meer van de omgeving (geen eigen lawaai), maar andere weggebruikers horen hen niet goed of niet. Hoe succesvol een AVAS is in het voorkomen van ongelukken zal zich moeten uitwijzen in de praktijk. Het is echter realistisch om aan te nemen dat de potentiële risico's van een stillere EV voldoende zullen worden gedekt door toepassing van een AVAS, te meer omdat dergelijke systemen verder verbeterd zullen worden op basis van praktijkervaring.

2.9 Overige veiligheidsaspecten: gedrag en processen

Het belangrijkste aspect van veiligheid is mens en gedrag. Het bewustzijn van de risico's bij werken met EV bepaalt of de regelgeving en processen gevolgd worden. Het onderwerp mens en gedrag betreft diverse aspecten tijdens het alledaags gebruik, de bouw en het onderhoud van elektrische voertuigen: het laadbefes en -gedrag, vakmanschap en certificering om ongekwalificeerde reparaties te voorkomen, omgang met verwisselbare batterijpakketten, goed gebruik van PBM's. Hierbij ziet DNV in de logistieke sector minder veiligheidsrisico's bij het alledaags gebruik, maar voornamelijk uitdagingen rondom onderhoud.

OEM's zien bij voorkeur bij iedere dealer een EV expert om goede veiligheidsvoorlichting te geven bij de verkoop. Volvo gaf aan een driedaagse training te verzorgen voor garagepersoneel om uit te leggen hoe om te gaan met E-vrachtwagens in de werkplaats. Delen van de training worden ook gegeven aan iedereen die er rondloopt, van schoonmaker tot directie. Om te zorgen dat directie veilig aanstuurt en ook de schoonmaker geen onveilige situatie zal creëren.

Een ander belangrijk aandachtsgebied vormen de processen waarmee veilig werken kan worden geborgd. Dit betreft processen voor de monitoring van aanvoer en stalling van EV's, maar ook de omgang met batterijpakketten voor ombouw, het onderhoud, het aanpassen van huidige werkprocedures en incidentmanagement (sectie 2.5).

2.9.1 Bestaand onderzoek

Er is bij DNV geen bestaand onderzoek bekend met betrekking tot de processen en gedragsaspecten rondom logistieke EV's.

2.9.2 Wet- en regelgeving, normen en veiligheidseisen

Personeel dat aan elektrische voertuigen sleutelt moet aan de NEN 9140 [24] voldoen. De NEN 9140 [66] is afgeleid van de NEN 3140 "Bedrijfsvoering van elektrische installaties" en beschrijft de eisen aan scholing en training van elektrisch vakbekwaam personeel en de (on)bevoegdheden van niet elektrisch vakbekwaam personeel. De standaard is gericht op de nieuwe risico's van hybride en elektrische voertuigen, waarbij ondeskundig handelen tot ernstige schade en letsel kunnen leiden, omdat er gewerkt wordt met spanningen die kunnen oplopen tot vele honderden volts (bij MCS tot 1500 V). BOVAG en de RAI-vereniging zijn momenteel bezig met het ontwikkelen van een label (certificaat) wat verder gaat dan NEN 9140, met extra en meer specifieke eisen. Uitrol hiervan is voorzien in 2022.

2.9.3 Risico's

2.9.3.1 EV expertise

Er is weinig kennis van EV (laad- en batterijveiligheid) in de logistieke en bouwsector. Grote partijen kunnen expertise in huis aannemen, maar dit is niet altijd mogelijk voor kleinere bedrijven. Het risico is dus voor kleinere bedrijven dat het lastig is om voldoende kennis in huis hebben om veilig te kunnen werken en goed te kunnen voorlichten.

Vakmanschap is essentieel om te voorkomen dat ongekwalificeerde reparaties worden gedaan, die tot onveilige werksituaties kunnen leiden

2.9.3.2 Vrachtwagen-specifiek

Met name in de carrosseriebouw kunnen veiligheidsrisico's m.b.t. e-trucks optreden: elementen als een kraan of laadbak worden vaak in Nederland opgebouwd op het geleverde elektrische chassis. Dat betekent dat er nog gelast en geschroefd wordt. Onderstellen hebben niet een internationaal identiek ontwerp. Daarom zijn de opbouwrichtlijnen erg merk specifiek en deze worden niet altijd nauwkeurig nageleefd. Bouwers hebben toegang tot bepaalde interfaces (bevestigingspunten, koppelingen, stekkers), maar soms is het toch handig om het anders te doen. Ze mogen in principe ook niet zelf aan de batterijen komen. Hoewel een service bulletin aan werkers kan worden meegegeven, hebben de OEM's vooralsnog de voorkeur voor eigen specialisten die de carrosseriebouwers ondersteunen en trainen.

De NEN 9140 is gericht op veilig werken aan alle soorten elektrische voertuigen. Het is belangrijk dat in de vrachtwagenwereld de bewustwording komt om de eisen uit NEN 9140 aangaande werkprocedures, opleiding en documentatie te implementeren. De OEM's kunnen en moeten hierbij de onderhoudsbedrijven en carrosseriebouwers met hun kennis en ervaring ondersteunen, wat ook al gebeurt voor het veilige gebruik van de voertuigen. Het is niet bekend of dergelijke ondersteuning vanuit de betrokken partijen ook bij opbouw plaatsvindt, met name wanneer extra batterijen worden aangebracht in de carrosserie.

2.9.3.3 Beschikbaarheid voldoende opgeleid personeel

De beperkte elektrotechnische kennis in de autobranche maakt het lastig om de goede expertise in huis te halen. Bewustwording en training van monteurs is essentieel om te zorgen dat ze snappen wanneer eigen kennis tekortschiet en ze externe expertise moeten inschakelen.

De huidige procedure waarbij OEM's hun klanten individueel opleiden is in de huidige opstartfase goed mogelijk, omdat de verkoopvolumes nog laag zijn. Het risico is dat er in de toekomst veel meer mensen nodig zijn (getrainden én trainers), de specifieke opleiding moet dan breder worden aangeboden.

2.9.3.4 Laadgewicht

Elektrische vrachtwagens zonder lading zijn zwaarder dan gewone vrachtwagens door het gewicht van de batterijen. Het gewicht van een batterijpakket van 300-600 kWh ligt rond de 1 á 2 ton. De typegoedkeuring is geldig voor het totaalgewicht van het voertuig. Voor veel nieuwe voertuigen is op het display in de cabine zichtbaar of de totale lading zijn maximum heeft bereikt. Het is niet bekend in hoeverre de vrachtwagenchauffeurs zich hieraan houden, of toch verder laden.

2.9.3.5 Gedrag

Het veranderen van gedrag en bewustzijn is complex. In de praktijk blijkt vaak dat mensen pas bereid zijn hun gedrag aan te passen, nadat ze zelf iets (bijna) mis hebben zien gaan. Op basis van diverse interviews en bovendien DNV ervaring met diverse nieuwe technologieën in diverse sectoren, verdient het aanbeveling om eisen op te stellen over de benodigde expertise voor het omgaan met e-trucks en trainingen/opfrissingscursussen aan te bieden aan al het personeel (chauffeurs, schoonmakers, technici, management, etc.), waarin herhaaldelijk de risico's worden besproken.

3 BOUW

3.1 Scope

Dit hoofdstuk is gericht op alle elektrische mobiele machines, voertuigen en werktuigen gebruikt in de bouw vanaf 8 kW vermogen met een batterijpakket als energievoorziening. In dit rapport wordt met betrekking tot de bouw voornamelijk geschreven over mobiele batterijgevoede *machines*.⁸ Op batterijgevoede bouwvoertuigen op de openbare weg zijn in principe dezelfde in dit rapport beschreven punten (risico's, conclusies, aanbevelingen etc.) van toepassing als voor logistieke EV's van vergelijkbare grootte. Wanneer deze bouwvoertuigen zich op een bouwplaats bevinden, zijn zij binnen het kader van deze studie doorgaans juist vergelijkbaar met machines. De bouw betreft in deze studie de utiliteitsbouw en grond-, weg-, water- en woningbouw, zowel binnenstedelijk, waar reeds infrastructuur aanwezig is, als buitenstedelijk.

Het huidige aanbod op de markt is een variatie van hybride, batterijgevoed of voedingskabel-gekoppeld elektrisch materieel. Batterijcontainers (energieopslagsystemen) zijn een belangrijke nieuwe component voor elektriciteitsvoorziening op de bouw en worden daarom hier ook behandeld. Overslagmachines zijn niet mobiel en vallen buiten de scope van dit onderzoek.

Elektrische varianten van mobiele bouwmaschinen die momenteel commercieel beschikbaar zijn, kunnen doorgaans een werkdag lang ingezet worden, afhankelijk van de omvang van de batterij [67].

Overheid en gemeentes stellen hoge eisen aan het materieel en zero-emissie is hierin een belangrijk punt. Adoptie van batterijvoeding wordt voornamelijk gedreven door technologische ontwikkelingen, de bouwlocatie en eisen vanuit de opdrachtgever/vergunningverlener [68]. Elektrische graafmachines hebben momenteel een significant hogere investering dan de ICE-variant. Ook de toelevering van elektrische (graaf)machines is nog gelimiteerd en een grote doorbraak is pas rond 2025 te verwachten; grote OEM's zoals Caterpillar of Volvo staan op het punt om intrede in de markt te doen, deels gedictieerd door internationale emissienormen. Elaad [68] projecteert tussen de 15.000 en 37.000 batterij-elektrische werktuigen in 2035 op een huidig totaal van 55.000. Retrofit kan een goed alternatief bieden om op dit moment al te kunnen voldoen aan de vraag naar elektrisch bouw materieel.

3.1.1 Categorieën

Tabel 3-1 Overzicht van elektrisch aangedreven bouw materieel. Gebaseerd op overzicht van BMWT [67].

Categorie	Uitvoering	Voorbeeld
Shovels (wielladers/ laadschop/ grondverzetmachine)	<p>Machines onder de 8 ton zijn allemaal aangedreven door een batterij.</p> <p>Boven de 8 ton momenteel slechts 1 type beschikbaar.</p>	

⁸ Wanneer in dit rapport "mobiele elektrische machines" worden genoemd, worden daarmee *batterijgevoede* mobiele elektrische machines bedoeld.

Categorie	Uitvoering	Voorbeeld
Graafmachines (mini)	Aangedreven door een batterij. Grootte batterijpakket vergelijkbaar met personen-EV's.	
Graafmachines (banden/rups)	Beschikbaar in hybride, accu en voedingskabel, gewicht tussen 10 en 120 ton. Zware machines laden voornamelijk via voedingskabel. Momenteel 1 model van 26 ton met ~300 kWh batterijpakket, Caterpillar)	
Verreikers (heftruck die op ruw terrein kan rijden)	Gewicht en batterijpakket vergelijkbaar met kleinere graafmachines.	
Trilplaten en -stampers	Momenteel 1 merk op de markt. Batterijpakket is klein vergeleken met personen-EV's (0.5 – 1.5 kWh).	
Batterijcontainers	Grootte kan variëren van 50 – 2000 kWh afhankelijk van de energievraag. Voorkomt overbelasting van bestaande installatie.	

Categorie	Uitvoering	Voorbeeld
Bulldozers	Qua gewicht vergelijkbaar met graafmachines. Momenteel nog geen batterijversie op de markt.	
Elektrische asfalteermachine	Eerste prototype met een batterijpakket met LFP batterijen [69].	

Bronnen foto's: Ahlmann, Kubota, Van Oord, Manitou, Wacker Neuson, Reco, Caterpillar, KWS.

3.1.2 Wet- en regelgeving op de bouwplaats

De aannemer van een bouwproject is verantwoordelijk voor de veiligheid op de bouwplaats en wordt geacht over een veiligheidssysteem (regels en werkwijzen waardoor de veiligheid wordt bevorderd) en een veiligheids- en gezondheidsplan (V&G-plan) te beschikken. Daarnaast verplicht de Arbowetgeving (Art 3) de werkgever om zorg te dragen voor de veiligheid en de gezondheid van de werknemers inzake alle met de arbeid verbonden aspecten, waaronder arbeidsmiddelen zoals mobiele werktuigen. Deze moeten minstens 1 keer per jaar worden gekeurd om te voorkomen dat deze onveilig worden door slijtage of ouderdom. De werkgever bepaalt zelf door wie hij zijn arbeidsmiddelen laat keuren zolang dit door een deskundig persoon of instelling wordt gedaan. Dit kan bijvoorbeeld een onafhankelijke keuringsinstantie zijn, een onderhoudsdienst van een leverancier of de technische dienst van het bedrijf zelf. Naleving wordt gecontroleerd door de Inspectie SZW. Verder zijn er algemene regels voor veiligheid op de bouwplaats ondergebracht in de Landelijke richtlijn Bouw- en Sloopveiligheid van de Vereniging Bouw- en Woningtoezicht Nederland [70]. Voor richtlijnen betreffende mobiele opslagsystemen op de bouwplaats kan er gekeken worden naar bijvoorbeeld de 'Handreiking Elektriciteit Opslag Systemen' van de Veiligheidsregio Rotterdam-Rijnmond (VRR) [71].

Wetgeving rondom Li-ion batterijen wijzigt in 2022:

- Batterijen Verordening [29] (voorstel 10 december 2020)
 - Producentenverantwoordelijkheid: alle batterijen die een importeur of producent op de Nederlandse markt zet dienen gemeld te worden bij de overheid of een collectieve organisatie. Doel: gehele keten tot aan de uiteindelijke afvalfase (recycling) geregistreerd bij het Ministerie.
 - Er zijn inzamelverplichtingen, en ook die hoeveelheden moeten gemeld worden. Daarmee kan het percentage bepaald worden van wat gerecycled wordt. Nederland moet dit melden aan de Europese Commissie.
 - Inspectie Leefomgeving en Transport (ILT) heeft aangekondigd de voorlichtingsrol te gaan uitvoeren.

Partijen in de markt zijn momenteel bezig om RDW-kentekening op orde te krijgen (> 6 km/u) voor elektrische mobiele machines die ook op de openbare weg rijden. Naast een kentekenbewijs is ook een keuring vereist.

3.2 Voertuigveiligheid

3.2.1 Bestaand onderzoek

DNV heeft geen bestaand onderzoek gevonden dat zich specifiek richt op veiligheidsrisico's voor elektrisch aangedreven bouwmaterieel.

3.2.2 Wet- en regelgeving, normen en veiligheidseisen

Per 1 januari 2021 geldt ook voor grotere mobiele machines in de bouw de registratieplicht (Kentekenplicht). Het gaat dan om bijvoorbeeld graafmachines, laders en vergelijkbare mobiele machines. Dit geldt niet voor machines die niet op de openbare weg rijden, zoals graafrupsmachines of werktuigen die met speciaal transport in delen naar de bouwplaats worden gebracht. Deze hoeven niet door RDW gekeurd te worden.

De brancheorganisatie BMWV levert periodieke veiligheidskeuring op werkmaterieel zoals wegenbouwmachines en transportmaterieel. Deze keur is echter niet verplicht (er wordt niet op gecontroleerd). BMWV biedt een specifieke keuring op batterijen en laadinfrastructuur. Dit is hoofdzakelijk een visuele controle op aspecten als de staat van de batterij, het BMS en de lader/laadkabel. Elektrificatie komt op een snel tempo op de markt af, het is daarom van belang om het keuringssysteem tijdig te actualiseren en up-to-date te houden.

3.2.3 Risico's

Omstandigheden op een bouwplaats verschillen van die op de openbare weg: zand, stof, modder, waterplassen, keien en andere obstakels, kuilen en hobbels. Bovendien is er regelmatig druk verkeer in een relatief kleine ruimte. Mogelijke risico's voor de machinist en omgeving zijn:

- Stabiliteit – beter bij aan laaggeplaatste batterij, slechter bij een hooggeplaatste vanwege extra gewicht
- Makkelijkere acceleratie welke kan resulteren in onverwachte beweging – het BMS kan/moet dit begrenzen
- Risico's voor de batterij (en indirect voor de machinist en de omgeving)
- Steenslag aan de onderkant – hiertegen kan en moet de batterij worden beschermd
- Botsimpact die schade aan de batterij kan veroorzaken – niet vanwege hoge snelheid maar door andere mobiele machines of lading die valt.
- Indringing van stof en vocht in de batterij.

Voor elektrische mobiele machines die direct vanuit de OEM worden geleverd kan worden aangenomen dat deze volledig zijn getest op veiligheid en geen extra risico met zich meebrengen ten opzichte van de huidige ICE varianten. Wel is het raadzaam om machinisten van elektrische mobiele machines te trainen met betrekking tot de volgende aspecten: mogelijk andere stabiliteit, grotere acceleratie en veilig opladen. Alle werknemers op een bouwplaats (die op enigerlei wijze te maken kunnen krijgen met elektrische mobiele machines of voertuigen) zouden verder een brede training moeten krijgen met betrekking tot risico's van elektrische mobiele machines of voertuigen: bv. aandachtspunten bij botsingen en vallende lasten. Voor omgebouwde elektrische mobiele machines en 'varianten waarbij extra batterijpakketten zijn aangebracht bestaat het risico dat de machine andere veiligheidseigenschappen heeft, die andere mitigaties vereisen dan voorzien in het oorspronkelijke ontwerp. Het risico bestaat dat deze 'ombouw/opbouw mobiele elektrische machines onvoldoende gekeurd of getest zijn.

3.3 (Onzichtbare) beschadiging batterij

In de bouwsector is de diversiteit aan 'mobiele elektrische machines en bijbehorende batterijen zeer groot. Voor de bekende fabrikanten geldt hetzelfde als bij de logistieke EV's: de batterijen zijn gelijk aan of afgeleid van batterijen voor personen-EV's die ontwikkeld zijn volgens hoge *automotive* kwaliteitseisen.

Voor ombouwmachines is de situatie anders: hier zijn de batterijen mogelijk minder goed beschermd door lagere kwaliteitseisen. Ook zou schade kunnen optreden door ongekwalficeerde reparatie en revisie.

Als verwisselbare batterijen worden gebruikt, moeten deze robuust gemaakt worden en moeten er duidelijke instructies zijn voor het omgaan met deze batterijen. Hierbij zijn bewustwording en training belangrijk.

Zoals genoemd bij de logistieke EV's, zal een goed BMS gebruik maken van afwijkingen in celspanningen, lokale temperaturen en gemeten schokken en trillingen om een indicatie van de veiligheidstoestand van de batterij af te geven. In voorkomende gevallen zou het BMS dan moeten verhinderen dat de batterij en de elektrische mobiele machine aangezet worden en een waarschuwing moeten geven dat de batterij onmiddellijk vervangen moet worden.

3.3.1 Bestaand onderzoek

DNV heeft geen onderzoeken gevonden die specifiek voor elektrische mobiele machines gelden (zie ook 2.3.1).

3.3.2 Wet- en regelgeving, normen en veiligheidseisen

Voor batterijen in bouwmachines geldt hetzelfde als voor de logistiek, zie 2.3.2. Daarnaast is het juist in de bouw van belang om in de werkvoorschriften duidelijke regels voor de omgang met elektrische mobiele machines en (verwisselbare) batterijen op te nemen.

Een aparte categorie vormt de mobiele laadpaal met batterij, wat veelal een batterijcontainer is met aansluitpunten om elektrische mobiele machines en voertuigen (en eventueel andere batterijpakketten) te laden. Een dergelijke installatie is zelf geen EV of elektrische mobiele machine, maar wel een energieopslagsysteem (EOS), waarop de Circulaire EOS en de toekomstige PGS 37 van toepassing zijn.

3.3.3 Risico's

In de bouw is er in het algemeen een groter risico dat een elektrische mobiele machine of batterij botst, valt of stoot, zowel voor batterijen in de machine als voor eventuele verwisselbare batterijen erbuiten. Enkele geïnterviewden gaven aan dat de eerste beveiliging hiertegen is om te zorgen dat de batterij mechanisch stevig beschermd is. Bij de OEM's zal dit goed geregeld zijn, in geval van ombouw/retrofit kan hiervoor minder aandacht zijn.

Net als in de logistiek (2.3.3) kan het BMS in de bouw een rol spelen om onzichtbare interne batterijschade te bewaken en te melden, maar dit is nog onderontwikkeld terrein. Het is in de bouw wellicht nog belangrijker om een methode te ontwikkelen voor bepaling of een batterij beschadigd is geraakt (en dus aanvullende maatregelen moeten worden getroffen), omdat de kans hierop groter wordt geacht.

3.4 Brandveiligheid

De brandveiligheid van *heavy duty* elektrische mobiele machines in de bouw wijkt in principe niet af van de logistieke voertuigen. De extra uitdaging zit in de omgeving waarin de machine opereert. Door de stoffige omgeving zou stof problemen in het batterijpakket kunnen veroorzaken, daarom is een voldoende IP-rating van belang, die ten minste IP 66 moet zijn (stofdicht en waterbestendig), wat OEM's ook voor hun batterijen aanhouden.

Aspecten van brandveiligheid in relatie tot de omgeving zijn: welke mogelijkheden zijn er om te blussen/koelen, risico's voor het personeel op de bouwplaats (de brand gaat niet eenvoudig uit; mogelijk moet er geëvacueerd worden), verstoring van het bouwproces, risico op brandoverslag naar bouwwerken.

3.4.1 Bestaand onderzoek

DNV heeft geen bestaand onderzoek gevonden specifiek voor elektrische mobiele machines.

3.4.2 Wet- en regelgeving, normen en veiligheidseisen

Voor elektrische mobiele machines geldt hetzelfde als voor de logistiek, zie 2.4.2. Daarnaast is het juist in de bouw van belang om in de werkvoorschriften duidelijke regels voor de omgang met elektrische mobiele machines en (verwisselbare) batterijen op te nemen.

3.4.3 Risico's

3.4.3.1 Mobiele laadcontainers

De brandweer is vaak niet op de hoogte van de aanwezigheid en locatie van elektrische mobiele machines en mobiele batterijcontainers. De brandweer kan gevraagd en ongevraagd advies geven, maar kan dit in de praktijk vaak niet doen daar ze niet op de hoogte worden gesteld. Een energieopslagsysteem moet verplicht worden aangemeld bij de netbeheerder, het is een wens van de brandweer om ook zo'n melding te krijgen. Het is in ieder geval belangrijk dat deze laadcontainers als zodanig herkenbaar zijn d.m.v. borden en/of stickers [44]. Een elektrische mobiele machine telt niet als energieopslagsysteem.

3.4.3.2 Verplaatsingen

Bij de interviews kwam een belangrijke opmerking naar voren over de verplaatsingen van elektrisch bouw materieel. Doordat momenteel de laadcapaciteit op een bouwplaats vaak beperkt is, worden de lichtere elektrische mobiele machines aan het eind van de dag regelmatig terug naar hun thuisbasis vervoerd (met een dieseltruck) om op te laden. Dit levert extra risico's op de weg, door de extra verplaatsingen en een grote hoeveelheid elektrische mobiele machines die 's nachts tegelijk op de thuisbasis geladen wordt.

3.4.3.3 Impact batterijbrand op constructie in aanbouw

Op een bouwplaats kan er een grote hoeveelheid batterijen aanwezig zijn in elektrische mobiele machines en opslagsystemen, waardoor het belangrijk is na te denken over de inrichting van het parkeer- en bouwterrein met betrekking tot de mogelijkheden van incidentbestrijding door de brandweer en voor het borgen van afstand. Een onbekende factor is de impact van een eventuele batterijbrand op de constructie van het bouwwerk in aanbouw; dit dient meegenomen te worden in het bouwveiligheidsplan.

3.5 Incidentmanagement

Voor elektrische mobiele machines in de bouw geldt net als voor logistieke EV's dat de incidentmanagementprocedures van toepassing zijn, maar dat de standaard bergingsprocedures niet toepasbaar zijn (sectie 2.5): de afmetingen van de elektrische mobiele machines zijn veelal te groot voor de dompel- en salvagecontainer. De bereikbaarheid van bouwlocaties bij incidenten is in principe afgedekt in bouwvoorschriften, maar voor zover DNV daar inzicht in heeft zijn er geen specifieke bepalingen opgenomen voor gebruik van elektrische mobiele machines. Hierbij is het van belang dat de brandweer voldoende ruimte heeft om bij de elektrische mobiele machines te komen en dat er voldoende waterbeschikbaarheid is.

3.5.1 Bestaand onderzoek

DNV heeft geen aanvullend bestaand onderzoek gevonden specifiek voor elektrische mobiele machines. Volgens de geïnterviewden uit de sector is het zeer uitzonderlijk dat bijvoorbeeld een shovel of kraan in brand gaat, aangezien er weinig brandbaar materiaal aanwezig is. Met conventionele mobiele machines in de bouw gebeuren weinig brandincidenten.

3.5.2 Wet- en regelgeving, normen en veiligheidseisen

Er zijn geen aanvullende eisen specifiek voor elektrische mobiele machines.

3.5.3 Risico's

3.5.3.1 Positie van de batterijpakketten

De positie van het batterijpakket in elektrische mobiele bouw machines is niet gestandaardiseerd. De plaatsing wordt over het algemeen door praktische overwegingen bepaald. Voor een kraan is bijvoorbeeld de mechanische balans mede bepalend voor de plaatsing van het batterijpakket. Dit betekent dat in geval van een incident niet altijd duidelijk is voor de hulpverleners waar de batterijen zich bevinden, waardoor ze de elektrische mobiele machine niet op een snelle, eenvoudige manier veilig kunnen stellen. Ook als de locatie van het accupakket wel bekend is, kan het afhankelijk van

die locatie moeilijk zijn om preventieve koel- en blusmaatregelen te nemen, en kan langdurige koeling of onderdampelen lastig zijn. Hierdoor kunnen onveilige situaties ontstaan, zoals overslag naar een naastliggend object en herontbranding.

Aanbeveling is om van ieder type elektrische mobiele machine een *Rescue Sheet* [38] te verplichten (zoals de EURO-NCAP voorschrijft voor personen-EV's [45]), waarin ook de posities van batterijpakketten staat aangegeven, evenals adequate handelingen om de elektrische mobiele machine spanningsvrij te maken.

3.5.3.2 Veiligheid machinisten

Een aandachtspunt specifiek voor elektrische mobiele machines is dat ze soms open cabines hebben. In dat geval is het van belang dat de machine eenvoudig tot stilstand kan worden gebracht en de veiligheid van de machinist kan worden gewaarborgd (tijdig weggelaten voordat vlammen van een zich snel ontwikkelende batterijbrand (mogelijk een steekvlam) de cabine kunnen bereiken). Dit is anders dan bij een dieselbrand doordat een batterijpakket vlak onder de cabine zou kunnen zijn geplaatst.

3.5.3.3 Voertuigtype en identificatie

Voertuigen op de weg moeten een typegoedkeuring hebben, waardoor door middel van het kenteken altijd kan worden opgezocht of er batterijen in het voertuig aanwezig zijn. De EURO-NCAP schrijft verder een risicokaart (*Rescue Sheet* [38]) voor (vooralsnog alleen voor personenauto's), waarin o.a. staat beschreven hoe het voertuig veilig kan worden gesteld. Elektrische mobiele machines die niet op de openbare weg rijden hebben echter geen kenteken, en kunnen dus niet makkelijk worden geïdentificeerd. Een mogelijke oplossing zou zijn om herkenning mogelijk te maken door de QR code.

Het behoeft de aanbeveling om ook voor elektrische mobiele machines zulke risicokaarten verplicht te stellen en deze machines eventueel ook op te nemen in commerciële *crash recovery* databases (bijvoorbeeld van Moditech), zodat de hulpdiensten beschikking hebben over digitale technische informatie van de betreffende elektrische mobiele machine.

3.5.3.4 Incidentlocatie

Bouwplaatsen kunnen zich op een afgelegen locatie bevinden zonder elektra en zonder water. Het is belangrijk dat er protocollen worden opgesteld hoe om te gaan met incidenten op dergelijke locaties, of aanvullende voorschriften te formuleren waaraan bouwlocaties moeten voldoen. Idealiter maken deze protocollen deel uit van de Handreiking Bouw- en sloopveiligheid van de Vereniging Bouw- en Woningtoezicht Nederland (VBWTN) [70].

3.5.3.5 ATEX omgeving

Een bouwlocatie kan een mogelijke ATEX-omgeving (*Atmosphère Explosibles*) zijn. Als er explosiegevaar bestaat moet worden voldaan aan de ATEX 114 richtlijn (richtlijn 2014/34/EU [72]). De voorschriften voor elektrische mobiele machines zijn niet anders dan bij benzine- of dieselveertuigen in een ATEX omgeving. Voertuigen op benzine hebben bougies, wat problematisch is voor een explosiegevaarlijke omgeving. Dieselveertuigen hebben dat probleem niet. De risico's van elektrische voertuigen en mobiele machines in ATEX omgeving zijn nog minder bekend en niet volledig onderzocht. De eerste elektrische ATEX-voertuigen hebben hun intrede gedaan in de markt (bijvoorbeeld Alké [73], geschikt voor ATEX-Zone 2).

3.6 Afgesloten ruimte

3.6.1 Bestaand onderzoek

DNV heeft geen bestaand onderzoek gevonden specifiek voor elektrische mobiele machines.

3.6.2 Wet- en regelgeving, normen en veiligheidseisen

Er is geen specifieke regelgeving, normen en eisen voor elektrische mobiele machines in afgesloten ruimten.

3.6.3 Risico's

DNV heeft geen aanvullende risico's gezien ten opzichte van de eerdere risico's beschreven in sectie 2.6.

3.7 Laadinfrastructuur

Laden op de bouwplaats brengt enkele uitdagingen met zich mee. De belangrijkste uitdaging is de elektriciteitsvoorziening. De laadinfrastructuur moet worden aangesloten op de aanwezige installatie die de bouwplaats (tijdelijk) van elektriciteit voorziet. De aanwezige installatie wordt mogelijk al direct vanaf het begin zwaarder belast op momenten dat elektrische mobiele machines opgeladen worden. Het kan voorkomen dat op een bouwplaats de beschikbare netaansluitcapaciteit beperkt is. Dit geldt bijvoorbeeld voor woning- en utiliteitsbouw. In het geval van weg- en waterbouw is er nog minder zekerheid over een aanwezige netaansluiting. Deze beperking in netcapaciteit kan de uitrol van elektrisch materieel belemmeren, maar is geen veiligheidsprobleem.

Daarnaast is ook de beschikbaarheid van de gestandaardiseerde laadinfrastructuur zelf een aandachtspunt. In vergelijking met de logistieke sector zijn laadpunten niet reeds op de bouwplaats aanwezig, maar moeten deze tijdelijk worden aangesloten. In veel bouwprojecten wordt er eerst gebouwd (ruwbouw) en daarna pas de elektra aangelegd. Dit moet deels worden omgedraaid als er vanaf dag één op de bouwplaats geladen moeten worden. Geïmproviseerde oplossingen, zoals mobiele kastjes, een wirwar van kabels en overbelasting moeten worden voorkomen door een gestandaardiseerde aanpak van het inpassen van laadinfrastructuur op de bouwplaats. Het is van belang om goedgekeurde kabels en laadpunten te gebruiken die werken volgens de bestaande EV-normen. De eerste OEM's op de markt (bv. Volvo) kiezen er momenteel voor om laadpunten mee te leveren met de machines.

Beide uitdagingen kunnen worden opgelost door toepassing van mobiele laadinfrastructuur in combinatie met een batterijcontainer. Dit maakt het mogelijk om een machine aan te sluiten op een standaard laadpunt met goedgekeurde kabel welke overdag voldoende capaciteit kan leveren. Mobiele laadinfrastructuur wordt momenteel ingezet als pilot voor het laden van elektrische mobiele machines op de bouwplaats door Breytner [74]. Om het laadpunt te beschermen en eenvoudig te kunnen verplaatsen nadat de bouw is voltooid, is deze in een *skid* (open containerframe) geplaatst. De mobiele batterij en laadpunt kunnen door middel van een e-truck worden vervoerd naar de volgende bouwplaats.

In situaties buiten de bouwplaats moet er gezocht worden naar lokale oplossingen. In sommige gevallen wordt er gebruik gemaakt van publieke laadinfrastructuur in de buurt. Vanuit de NAL wordt gewerkt aan een handreiking voor deze situaties, waarin relevante veiligheidsaspecten worden beschreven zoals keuring en vergrendeling van stekkers en afspraken met de CPO. Als er geen laadoplossing beschikbaar is, kan dit betekenen dat een elektrische mobiele machine naar een andere locatie moet worden verplaatst om 's nachts te kunnen opladen.

In de intralogistiek⁹ wordt al langer gebruikt gemaakt van oplaadinfrastructuur voor het opladen van voornamelijk loodaccu's en inmiddels ook Li-ion-accu's, bijvoorbeeld voor vorkheftrucks. Deze worden opgeladen bij een zogenaamd acculaadstation. De ervaring hier is dat de omgang met de laadinfrastructuur erg belangrijk is (bv. het correct ophangen van de laadkabels).

3.7.1 Bestaand onderzoek

DNV heeft geen bestaand onderzoek kunnen vinden dat zich richt specifiek op laadinfrastructuur voor de bouwsector.

3.7.2 Wet- en regelgeving, normen en veiligheidseisen

Voor laadinfrastructuur in de bouw bestaan momenteel geen specifieke regelgeving, normen en veiligheidseisen. Het is de verwachting dat hiervoor aanvullende normen en regels komen die specifiek voor mobiele laadoplossingen gelden. Omdat het laden in intra-logistiek al tientallen jaren plaatsvindt, zijn hier duidelijke richtlijnen voor het laden aanwezig. Er zijn bijvoorbeeld eisen voor goede ventilatie en een verbod op roken en open vuur [75].

⁹ Logistiek van goederen en materialen op een bedrijventerrein en in bedrijfsgebouwen.

3.7.3 Risico's

Het kan zijn dat er op een bouwplaats onvoldoende voorzieningen aanwezig zijn, zoals voldoende netcapaciteit en gestandaardiseerde laadinfrastructuur. In dit geval is er een mogelijk risico waarbij voor het laden van elektrische mobiele machines bestaande elektrische infrastructuur (bijvoorbeeld bouwketen of adapterkasten) wordt gebruikt die niet ontwikkeld is volgens de juiste standaarden (IEC 61851 en IEC 62196), met uiteindelijk overbelasting van kabels of kortsluiting als gevaar.

Ook in de bouw geldt een verhoogd aanrijdrisico van laadinfrastructuur (zie 2.7.3).

Het verdient aanbeveling om de bestaande regelgeving voor acculaadstations in de intralogistiek als uitgangspunt te nemen voor regelgeving van laden op (en wellicht ook rondom) de bouwplaats.

3.8 Geluid en afwezigheid daarvan

3.8.1 Bestaand onderzoek

DNV heeft geen bestaand onderzoek gevonden specifiek voor elektrische mobiele machines.

3.8.2 Wet- en regelgeving, normen en veiligheidseisen

De EU-wetgeving voor een AVAS geldt alleen voor voertuigen met 4 of meer wielen in de M en N categorie. Mobiele machines vallen niet in deze categorie [76] en zijn daarmee niet verplicht om een geluidssysteem te hebben. Huidige mobiele machines, zowel conventionele als elektrische, geven bij achteruitrijden een signaal (piepton).

3.8.3 Risico's

Net zoals bij EV's op de openbare weg zou een gebrek aan rijgeluid een verhoogd risico kunnen opleveren voor machinisten, bestuurders en personen op de bouwplaats (zie 2.8). Er zijn echter een aantal belangrijke verschillen met de openbare weg. Elektrische mobiele machines in de bouw zijn over het algemeen aan het werk op afgezette terreinen met groot materieel, waarbij aanwezige machinisten, bestuurders en personen zich al beter bewust zijn van aanrijgevaar dan weggebruikers op de openbare weg. Daarnaast opereren elektrische mobiele machines op lage snelheid. Ook is er vaak veel omgevingsgeluid. Het is goed mogelijk dat in het algemeen elektrische mobiele machines dat gevaar verminderen doordat zij bijdragen aan een stillere bouwplaats waar beter kan worden opgelet. Ook de verstaanbaarheid van werknemers op de bouwplaats verbetert en dit komt de veiligheid ook ten goede.

3.9 Overige veiligheidsaspecten: gedrag en processen

Ook in de bouw zijn de processen voor elektrische mobiele machines in ontwikkeling. De uitdaging is dat er veel verschillende typen machines zijn, wat het soms lastig maakt om eenduidige richtlijnen te schrijven en de processen en checklists goed in te richten voor elektrische mobiele machines in de bouw. BMWT heeft bijvoorbeeld nog niet alle keurformulieren toegerust op elektrische mobiele machines.

De voornaamste risico's zitten in de tussenfase met retrofits van elektrische mobiele machines, omdat de keuringseisen van BMWT nog niet daarvoor aangepast zijn, onduidelijk zijn of genegeerd worden.

Qua gedrag is de grootste uitdaging in de bouwsector dat het personeel voornamelijk mechanisch is opgeleid. Dit betekent dat er weinig bewustzijn is van de mogelijke risico's voor werken met elektrotechnische apparatuur en batterijpakketten.

3.9.1 Bestaand onderzoek

De lessen uit de intralogistiek zouden moeten worden meegenomen in de praktische implementatie voor de bouwsector. Veiligheidsscans uitgevoerd door BMWT laten zien dat aan de acculaadstations bijna altijd iets mankeert: kabels zijn niet netjes opgeruimd en weggewerkt, en voorschriften rondom persoonlijke beschermingsmiddelen worden onvoldoende nageleefd.

3.9.2 Wet- en regelgeving, normen en veiligheidseisen

In de arbowet- en regelgeving staat dat arbeidsmiddelen in goede staat moeten zijn, dat betekent dat er een ingebruiknamekeuring (Arbo-besluit, hoofdstuk 7, afdeling 2, artikel 7.4a, lid 1), evenals verplichte en frequente periodieke keuringen (Arbo-besluit, hoofdstuk 7, afdeling 2, artikel 7.4a, lid 3). Als richtlijn wordt als veilige ondergrens eenmaal per jaar aangehouden. Elektrisch aangedreven apparatuur zal naar verwachting minder slijtage vertonen. Ook is er een verplichte uitvoering van een risico-inventarisatie en -evaluatie (RI&E), zie de Arbowet, artikel 5. De Richtlijn bouw- en sloopveiligheid geeft aanbevelingen voor het stappenplan van de risicoanalyse en voor de gevaren die beoordeeld moeten worden [70]. Daarin worden gevaren omtrent elektrische mobiele machines niet genoemd. Het verdient aanbeveling om deze richtlijn te updaten op het gebied van elektrische mobiele machines.

3.9.3 Risico's

3.9.3.1 Opleiding

Een uitvoerder moet bij veiligheidschecklijsten goed begrijpen wat de aandachtspunten zijn en waar hij op moet letten. Dit geldt ook voor het overige personeel op de bouwplaats. Wanneer er bewustzijn komt voor de mogelijke risico's en de werknemers goed snappen waarom bepaalde veiligheidsprotocollen gevolgd moeten worden, is de kans veel groter dat deze worden opgevolgd. Personeel in de bouw is voornamelijk opgeleid in de mechanica en werktuigkunde, er is beperkte elektrotechnische expertise op de bouwplaats. Dat betekent dat ze niet altijd de noodzaak herkennen om veilig ingerichte processen en werkmethodes op te volgen, die vaak iets meer moeite kosten. DNV raadt daarom aan om voor al het personeel op de bouwplaats dat met elektrische mobiele machines en voertuigen te maken heeft een opleiding te verzorgen met betrekking tot bijbehorende risico's en achtergronden daarvan.

3.9.3.2 Oplossingsgerichte mentaliteit

Werknemers in de bouw zijn vaak pragmatisch en innovatief. Voor problemen worden soms oplossingen gevonden die onconventioneel, onvoorzien en/of niet in lijn met regelgeving zijn. Dit kan bijvoorbeeld optreden bij het zoeken naar elektriciteitsaansluitingen voor het opladen van elektrische mobiele machines. Wanneer risico's onvoldoende herkend en gemitigeerd worden, ontstaan hierbij onveilige situaties. Tegelijkertijd is het veiligheidsbesef in de sector doorgaans hoog en zijn werknemers gewend om te gaan met (hen bekende) risico's. Het verdient de aanbeveling om iedereen op een bouwterrein training te geven in het herkennen van deze nieuwe batterijgerelateerde risico's, zodat er een beter bewustzijn wordt gecreëerd over hoe veilig kan worden gewerkt. Daarnaast raadt DNV aan om een verantwoordelijke aan te wijzen in de bouw die algemeen toezicht houdt over het opladen van (de batterijen van) alle elektrische mobiele machines en voertuigen.

3.9.3.3 Kennisdeling

Het is belangrijk om processen, checklists en werkmethodes regelmatig te updaten met de laatste inzichten vanuit de sector en naar aanleiding van mogelijke incidenten en *near misses*. Indien nodig moeten instructies een update krijgen of moeten nieuwe c.q. aanvullende instructies geschreven worden. Hiervoor zullen ook de algemene handreikingen zoals de Richtlijn bouw- en sloopveiligheid een update moeten krijgen met betrekking tot elektrische machines en voertuigen. Dit laatste helpt ook bij de kennisdeling over elektrische veiligheid binnen de sector.

4 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

4.1 Conclusies – algemeen

In de logistiek en bouw worden momenteel relatief kleine aantallen elektrische voertuigen en mobiele machines gebruikt, zowel nieuwe voertuigen als ombouw-/opbouwvoertuigen (c.q. machines). Op basis van deze studie kan in het algemeen gesteld worden dat de veiligheidsrisico's (kans maal effect) door deze elektrische voertuigen en mobiele machines voorsnog beperkt zijn, in absolute zin en relatief in vergelijking met conventionele voertuigen en mobiele machines. Hoewel de impact van incidenten in sommige gevallen groot kan zijn, vooral bij niet-afdoende mitigatie, is de kans hierop klein, en vanwege de huidige kleine aantallen voertuigen en mobiele machines zullen incidenten nog weinig voorkomen. Het verdient wel aanbeveling om nu al te beginnen met het adresseren van (met name) de grootste geïdentificeerde veiligheidsrisico's, met het oog op de verwachte sterke groei van elektrische voertuigen en mobiele machines in logistiek en bouw in de komende jaren, waardoor deze risico's zich zullen materialiseren. Ook is het verstandig deze groei en de ontwikkelingen van (aantallen) incidenten en veiligheidsrisico's te monitoren, om tijdig te kunnen bijsturen waar nodig.

Risico's met betrekking tot laadinfrastructuur, voertuigveiligheid en geluid worden als laag ingeschat. De grootste risico's liggen bij incidentmanagement en gedrag. Onderzoek naar incidenten, kennisdeling van leerpunten (bijvoorbeeld door een brancheorganisatie zoals TLN en BMWV), en opleiding van een brede groep gebruikers over risico's en mitigatie zijn belangrijke aanbevelingen.

Regelgeving met betrekking tot veiligheid is voor personenauto's doorgaans goed vertaald naar elektrische voertuigen en mobiele machines, maar is voor grote elektrische voertuigen en mobiele machines in logistiek en bouw nog niet volledig geïmplementeerd in keuringen en onderhoudsprocedures.

In de volgende paragrafen wordt een overzicht gegeven van in deze studie geïdentificeerde risico's en kennislacunes per sector en per veiligheidsonderwerp, alsook van de bijbehorende aanbevelingen.

4.2 Conclusies – logistiek

Zeer weinig bestaand onderzoek is beschikbaar specifiek over veiligheid van de logistieke EV's die binnen de scope van deze studie vallen. OEM's doen wel eigen onderzoek naar o.a. voertuigveiligheid en elektrische veiligheid van de aandrijflijn, maar dat is niet openbaar.

Met betrekking tot wet- en regelgeving kan het volgende gesteld worden:

- Bestaande EV-regelgeving is van toepassing. Deze is generiek van karakter en daardoor ook voor logistieke EV's van toepassing. Voorbeelden zijn de Wegenverkeerswet 1994 en de typegoedkeuring van de RDW. In de Europese eisen voor wegverkeer (die RDW volgt) staan onder andere ook eisen voor de veiligheid van de elektrische aandrijflijn en de batterij.
- Op het gebied van elektrische voertuigveiligheid bestaan er IEC-normen die ook bruikbaar zijn voor EV's in logistiek en bouw. In de komende 3-5 jaren worden geen specifieke normen voor EV's in deze sectoren verwacht. Wel wordt gewerkt aan normen voor het laden met een hoog vermogen, wat onder meer voor logistieke EV's van belang is.
- NEN 9140 beschrijft eisen aan documentatie, werkprocedures, opleidingseisen en verantwoordelijkheden voor veilig werken aan EV's. Deze norm is ook van toepassing op EV's in logistiek en bouw. Partijen (m.n. onderhoudsbedrijven) werken aan, of moeten gaan werken aan, implementatie van deze norm in hun werkprocessen.
- Er zijn duidelijke regels en normen voor de elektrische laadinfrastructuur. Er is echter geen regel die periodieke veiligheidsinspectie en onderhoud van deze laadinfrastructuur voorschrijft, wat wel nodig is om de technische

integriteit en de veiligheid op peil te houden. In het geval van publieke laadinfrastructuur houden aanbieders doorgaans een jaarlijkse inspectie aan, dus in de praktijk is dit geregeld zonder wettelijke verplichting¹⁰.

Risico's en kennislacunes per veiligheidsaspect worden genoemd in Tabel 4-1.

Tabel 4-1 Risico's en kennislacunes met betrekking tot EV's in de logistiek

Onderwerp	Risico's	Risico-inschatting ¹¹	Kennislacunes
Voertuig-veiligheid	Omgebouwde voertuigen met een eenmalige typegoedkeuring zijn mogelijk ontoereikend gevalideerd op het gebied van batterijpakket en elektrische aandrijflijn ¹² . Daarnaast kunnen extra batterijen in de carrosserie, die niet binnen scope van de typegoedkeuring vallen, veiligheidsrisico's opleveren.	Middel	
(Onzichtbare) beschadiging batterij	Het is onduidelijk of een batterij nog veilig is na een (licht) incident/botsing.	Laag	Bepaling of een batterijpakket beschadigd is, aan de hand van BMS gegevens, fysieke kenmerken of metingen
Brandveiligheid	Omdat een EV-brand kortstondig heviger (heter) kan zijn en moeilijker te blussen, is er een verhoogd risico op overslag op (te) nabije voertuigen, bijvoorbeeld in een stalling. De (intense) EV-brand kan mogelijk een grotere impact op constructieve veiligheid (tunnel, garage, etc.) hebben.	Middel	Bepaling van het brandverloop (brandtijd, intensiteit, gedrag), afhankelijk van voertuigtype en positie van de batterijen. Bepaling impact van (intense) branden op constructieve veiligheid.

¹⁰ De installatienorm NEN 1010 geeft overigens wel handreikingen voor periodieke inspectie: toepassing van de aangereikte beslisboom zal leiden tot een inspectie-interval tussen 1 en 5 jaar. Leveranciers en beheerders van laadpalen houden een interval van één jaar aan, met daarnaast vaak nog maandelijkse visuele inspecties.

¹¹ Dit is een kwalitatieve inschatting van kans maal effect voor de per onderwerp genoemde risico's. Gebruikte gradaties: laag, middel en hoog. Een hoog risico houdt de verwachting in dat betreffende risico's op een termijn van maanden zullen leiden tot incidenten met beperkte impact, en/of binnen enkele jaren tot incidenten met grote impact.

¹² RDW gaat bij de keuring af op de testcertificaten van de producent van de batterij en aandrijflijn. Als er getest is door gerenommeerde instituten zoals bv. TÜV kan worden aangenomen dat dit geen additioneel risico oplevert. Het is echter onduidelijk wat de eisen van RDW zijn m.b.t. geldigheid en detailniveau van de testcertificatie.

Onderwerp	Risico's	Risico-inschatting ¹¹	Kennislacunes
Incident-management	Er is nog geen oplossing voor het veiligstellen van verbrande e-trucks. Kennisdeling is beperkt vanwege terughoudendheid van fabrikanten en regionaal verspreide aanpak. Diversiteit aan merken en typen voertuigen bemoeilijkt kennisopbouw. De informatie over vrachtwagens in informatiesystemen van hulpverleners is onvolledig.	Hoog	Alternatieve blus- en bergingsmethodes voor e-trucks (i.p.v. dompelcontainers)
	De procedure tewatergeraking EV's is niet geschikt voor e-trucks.	Laag	
Afgesloten ruimte	Geen specifieke brandveiligheidseisen voor EV's en laadinfrastructuur in afgesloten ruimtes. Mogelijk onvoldoende bluswater beschikbaar.	Middel	Bergingsmethode voor EV's in afgesloten ruimtes (tunnel, garage).
Laadinfrastructuur	Periodieke veiligheidsinspectie en onderhoud vindt doorgaans plaats maar is niet verplicht. Hoger aanrijdrisico van laadinfrastructuur. Groter risico op overbelasting van de installatie waarop de laadinfrastructuur is aangesloten (bv. kabeldimensionering).	Laag	
Geluid en afwezigheid daarvan	EV's van vóór juli 2021: verhoogd verkeersrisico door gebrek aan geluid bij lage snelheden (geldt niet voor nieuwere EV's met verplicht AVAS-geluidssysteem)	Laag	Bepaling beste manier van mitigeren van dit risico, bv. AVAS, ander geluidssysteem, training chauffeurs, etc.
Gedrag en processen	Weinig kennis van en ervaring met EV-veiligheid (met name bij kleinere bedrijven), daardoor risico op bv. ongekwalificeerd gebruik, reparatie of incident-management. NEN 9140 is nog niet goed geïmplementeerd bij bedrijven die werken aan e-trucks, wat tot onveilige situaties kan leiden.	Hoog	
	Bij onjuist handelen (beladen) mogelijke overschrijding van het veilig (toegestaan) laadgewicht.	Laag	

4.3 Conclusies – bouw

Ook over veiligheid van elektrische mobiele machines in de bouwsector blijkt vrijwel geen publiek beschikbare literatuur te bestaan, waarschijnlijk omdat er vooralsnog zeer weinig ervaring mee is. Specifieke regelgeving voor elektrische mobiele machines lijkt niet te bestaan, bijvoorbeeld met betrekking tot stabiliteit, bescherming van de batterij, laadinfrastructuur, etc. Generieke wet- en regelgeving zijn natuurlijk wel van toepassing, zoals Arbowetgeving, NEN 9140 en NEN 1010. Risico's en kennislacunes per veiligheidsaspect worden genoemd in Tabel 4-2.

Tabel 4-2 Risico's en kennislacunes met betrekking tot elektrische mobiele machines in de bouw

Onderwerp	Risico's	Risico-inschatting ¹¹	Kennislacunes
Voertuig-veiligheid	<p>Omgebouwde mobiele machines en mobiele machines met extra batterijen kunnen andere veiligheids-eigenschappen hebben (en dus andere mitigatie vereisen) dan voorzien in oorspronkelijk ontwerp, en hier mogelijk onvoldoende op worden getest en gekeurd.</p> <p>Machinisten van elektrische mobiele machines en anderen kunnen onvoldoende bekend zijn met verschillen ten opzichte van ICE-voertuigen, zoals: stabiliteit, grotere acceleratie, gevaren van botsing.</p>	Middel	Algemeen testprotocol voor elk type omgebouwde mobiele machine met duidelijke validatie-eisen voor de batterij en de aandrijflijn.
(Onzichtbare) beschadiging batterij	Risico op een botsing, val of stoot is in de bouw groter dan bij andersoortige gebruikssituaties. Het is onduidelijk of een batterij nog veilig is na een dergelijke gebeurtenis. OEM's houden hier rekening mee in het ontwerp; bij ombouw is hier mogelijk onvoldoende rekening mee gehouden, en specifieke regelgeving lijkt te ontbreken.	Middel	Bepaling of een batterijpakket beschadigd is, aan de hand van BMS gegevens, fysieke kenmerken of metingen.
Brand-veiligheid	<p>Omdat een EV-brand kortstondig heviger (heter) kan zijn en moeilijker te blussen, is er een verhoogd risico op overslag op (te) nabije mobiele machines, bijvoorbeeld in een stalling.</p> <p>Mogelijke impact van (intense) brand van een elektrische mobiele machine op constructieve veiligheid (van bouwwerken in aanbouw en andere constructies op de bouwplaats).</p>	Middel	<p>Bepaling van het brandverloop (brandtijd, intensiteit, gedrag), afhankelijk van type elektrische mobiele machine en positie van de batterijen.</p> <p>Bepaling impact van branden van elektrische mobiele voertuigen op constructieve veiligheid van (in aanbouw zijnde) constructies op bouwplaatsen.</p>

Onderwerp	Risico's	Risico-inschatting ¹¹	Kennislacunes
Incident-management	<p>Er is geen oplossing voor het veiligstellen van grote verbrande elektrische mobiele machines.</p> <p>De informatie over elektrische mobiele machines in systemen van hulpverleners is onvolledig.</p>	Hoog	<p>Alternatieve blus- en bergingsmethodes (i.p.v. dompelcontainers).</p> <p>Risico's van elektrische mobiele machines in ATEX-omgeving en oplossingen daarvoor.</p>
Afgesloten ruimte		Laag	Bergingsmethode voor EV's in afgesloten ruimtes.
Laadinfrastructuur	Mogelijk wordt onveilige (al dan niet tijdelijke) laadinfrastructuur gebruikt, omdat geen standaard infrastructuur of zelfs zeer beperkt elektriciteit beschikbaar is bij aanvang van het bouwen.	Middel	
Geluid en afwezigheid daarvan	Gebrek aan rijgeluid bij elektrische mobiele machines en -voertuigen kan risico opleveren voor andere mobiele machines, voertuigen en personen op de bouwplaats (maar kan ook juist de veiligheid verhogen). AVAS mitigeert dit risico, maar is niet verplicht voor machines die niet voor de openbare weg bestemd zijn en voor voertuigen van vóór juli 2021.	Laag	<p>Risicobepaling van ontbreken van geluid zonder AVAS (is dit überhaupt een risico, zo ja is het significant ten opzichte van andere risico's op de bouwplaats, gegeven het reeds aanwezige omgevingsgeluid?). Indien relevant: bepaling beste manier van mitigeren van dit risico, bv. AVAS, ander geluidssysteem, training machinisten / chauffeurs, etc.</p>
Gedrag en processen	<p>Weinig kennis van en ervaring met veiligheid van elektrische mobiele machines (met name bij kleinere bedrijven), daardoor risico op bv. ongekwalificeerd gebruik, reparatie en incidentmanagement.</p> <p>Deze risico's zijn in de bouw vergroot door de oplossingsgerichte mentaliteit en doorgaans beperkte elektrotechnische expertise. Kennisdeling kan deze risico's verminderen. Vooralsnog is de kennis(deling) m.b.t. elektrische mobiele machines in de bouw nog zeer beperkt.</p>	Hoog	

4.4 Aanbevelingen

Op basis van hoofdstuk 2 en 3 van deze studie doet DNV de aanbevelingen in onderstaande tabel. In principe zijn deze van toepassing op zowel de logistiek als de bouw, tenzij anders aangegeven. De aanbevelingen zijn gecategoriseerd, genummerd en bij elke aanbeveling is een suggestie gegeven voor welke partij(en) dit zouden kunnen oppakken. Aanbevelingen die op korte termijn een hoge impact kunnen en moeten opleveren zijn aangegeven als “prioriteit”.

Tabel 4-3. Aanbevelingen met betrekking tot veiligheid elektrisch rijden in logistiek en bouw

Categorie	#	Aanbeveling	Partij
Batterij	1	Methodes ontwikkelen voor het vaststellen van (onzichtbare, interne) batterijbeschadigingen bij EV's en elektrische mobiele machines. Het BMS met interne sensoren en data-analyse kan hierbij een rol spelen.	OEM's (mits bruikbaar voor derden)
	2	Extra aandacht besteden aan de keuring van het batterijpakket van elektrische voertuigen en mobiele machines die omgebouwd zijn of opbouw hebben. De keuringsinstantie zal goed moeten nagaan of de vereiste ontwerpisen gevolgd zijn en tests en validaties voldoende en correct uitgevoerd zijn.	Overheid. Prioriteit
Voertuig- veiligheid en incident- manage- ment	3	Onderzoek naar verloop van brand bij grote EV's en elektrische mobiele machines, en veilige afstanden daarbij, met aandacht voor afgesloten ruimtes zoals tunnels en garages.	Overheid, brandweer, IFV, universiteiten
	4	Veilige ruimtelijke indeling checken van, en regelgeving opstellen voor, logistieke terreinen en bouwplaatsen waar EV's en elektrische mobiele machines worden geparkeerd en geladen. met betrekking tot veilige afstanden van voertuigen / mobiele machines onderling met name tijdens laden, beschikbaarheid van (blus-)water, etc.	Overheid, normen- commissies
	5	Updaten procedure tewatergeraking EV's met betrekking tot grote EV's.	Hulpdiensten
	6	Informatiesystemen van hulpverleners (<i>rescue sheets</i>) aanvullen met informatie over grote EV's en elektrische mobiele machines, waaronder positie van het batterijpakket, adequate punten voor spanningsvrij maken, en wellicht type batterij (bv. Li-ion NMC), capaciteit en vermogen. Eventueel informatie op voertuig zelf (bijvoorbeeld via QR code).	OEM's (informatie), overheid (verplichting tot updaten)
	7	Methode ontwikkelen voor langdurig veiligstellen grote verbrande EV's.	Hulpdiensten. Prioriteit
	8	Impact bepalen van EV-branden op constructieve veiligheid a) Voor logistieke EV's op bv. tunnels en stallingen/garages b) Voor bouw-EV's op (in aanbouw zijnde) constructies op bouwplaatsen	IFV, TNO, universiteiten
	9	Checken en indien nodig aanpassen van bouwvoorschriften met betrekking tot bereikbaarheid van bouwlocaties en mogelijkheden tot blussen van elektrische bouwvoertuigen, in het bijzonder op locaties zonder elektra en water.	Overheid

Categorie	#	Aanbeveling	Partij
	10	Risico's bepalen van EV's en elektrische mobiele machines in ATEX omgeving en passende oplossingen vinden.	Onderzoeks- instituten, normen- commissies
Gedrag en processen	11	Kennisopbouw verbeteren door uniforme handelingsprotocollen, nationale aanpak / opleiding, en kennisdeling van incidenten en <i>near misses</i> binnen de sector.	Overheid, branche- organisaties. Prioriteit
	12	Een goede implementatie van NEN 9140 verzorgen bij bedrijven die werken aan e-trucks en elektrische bouwvoertuigen.	Branche- organisaties
	13	Training van machinisten van elektrische mobiele machines en met betrekking tot de volgende aspecten: mogelijk andere stabiliteit, grotere acceleratie.	OEM's, branche- organisaties, eindgebruikers
	14	Bredere training voor werknemers in zowel logistiek als bouw met betrekking tot EV's en elektrische mobiele machines en batterijen daarvan: omgang, herkennen van risico's, handelen bij incidenten. Onderwerpen zijn bv. botsingen, val van lasten, omgaan met (verwisselbare) batterijen, voorkomen van en omgaan met beschadigingen aan batterijen, etc. Relevante werkvoorschriften moeten worden aangepast.	OEM's, branche- organisaties, eindgebruikers. Prioriteit
	15	Een toezichthouder aanstellen voor het opladen van elektrische mobiele machines en EV's op elke bouwplaats.	Bouwbedrijven
Geluid	16	Risico-inschatting van gebrek aan geluid (bij bepaalde EV's en elektrische mobiele machines): is dit op de bouwplaats überhaupt een risico, zo ja is het significant ten opzichte van andere risico's daar, gegeven het reeds aanwezige omgevingsgeluid? Indien ja voor de bouw en sowieso voor de logistiek: bepaling van de beste manier om dit risico te mitigeren, bv. AVAS, ander geluidssysteem, training chauffeurs / machinisten, etc.	Onderzoeks- instituut
Laadinfra-structuur	17	Procedures opstellen voor veilige (tijdelijke) laadinfrastructuur op de bouwplaats.	Branche- organisaties

REFERENTIES

- [1] CE Delft, „Veiligheid en elektrische personenauto's - Actualisatie factsheet,” 2020.
- [2] D. Hilster, E. Tol en J. Király, „Inventarisatie veiligheidsaspecten ZE bussen (conceptrapport),” CE Delft, 2021 (Concept).
- [3] Natuur en Milieu, „Stadslogistiek op koers?,” 2021.
- [4] ElaadNL, „De ontwikkeling van elektrische trucks voor stadslogistiek in Nederland t/m 2035,” 2019. [Online]. Available: https://www.elaad.nl/uploads/files/ElaadNL_Outlook_E-trucks_stadslogistiek.pdf ; https://www.elaad.nl/uploads/files/20Q2_ElaadNL_Outlook_E-bestelvoertuigen_V1.0.pdf..
- [5] SEB, [Online]. Available: <https://www.opwegnaarseb.nl/>. [Geopend 1 November 2021].
- [6] BMWt, „Overzicht elektrische-hybride mobiele werktuigen november 2019.1,” 2020. [Online]. Available: www.bmw.nl.
- [7] Inspectie SZW, „BIM Blootstelling aan dieselmotoremissies,” [Online]. Available: <https://www.inspectieszw.nl/publicaties/richtlijnen/2019/10/15/basisinspectiemodule-bim-blootstelling-aan-dieselmotoremissies-dme>. [Geopend 13 Aug 2021].
- [8] RVO, „Nederland elektrisch: Aantal geregistreerde elektrische voertuigen in Nederland,” [Online]. Available: <https://nederlandelektrisch.nl/actueel/verkoopcijfers>.
- [9] Elaad, „Truckers komen op stroom - de ontwikkelingen van batterij-elektrische trucks in (inter)nationale logistiek in Nederland t/m 2035,” 2020.
- [10] European Commission, „Vehicle categories - Mobility and transport, road safety,” [Online]. Available: https://ec.europa.eu/transport/road_safety/topics/vehicles/vehicle_categories_en. [Geopend 28 09 2021].
- [11] Topsector Logistiek, „Verkenning naar minimale eisen laadinfrastructuur voor elektrische logistiek,” 2021.
- [12] NKL, „Handreiking Logistiek Laden,” 2020.
- [13] R. vereniging. [Online]. Available: <https://www.raivereniging.nl/nieuws/nieuwsberichten/2019-q2/0618-nieuwe-ontheffingsregeling-c-rijbewijs-voor-elektrische-bestelauto-gepubliceerd.html>. [Geopend 27 November 2021].
- [14] Charin Global, „Megawatt Charging System (MCS),” [Online]. Available: <https://www.charin.global/technology/mcs/>. [Geopend 28 September 2021].
- [15] The University of California Institute of Transportation Studies, „Effects of increased weights of alternative fuel trucks on pavement and bridges,” UC ITS, 2020.
- [16] TNO, „Veiligere Europese wegen dankzij doorbraak in truck platooning,” [Online]. Available: <https://www.tno.nl/nl/over-tno/nieuws/2021/10/veiligere-europese-wegen-dankzij-doorbraak-in-truck-platooning/>. [Geopend 4 10 2021].
- [17] IFV, „Brandveiligheid van elektrische bussen,” 2016.
- [18] Scania, „Crash testing an electric Scania truck,” [Online]. Available: <https://www.scania.com/group/en/home/newsroom/news/2020/Crash-testing-an-electric-scania-truck.html>. [Geopend 28 September 2021].
- [19] VN ECE, „Reglement nr. 100 van de Economische Commissie voor Europa van de Verenigde Naties (VN/ECE) — Uniforme bepalingen voor de goedkeuring van voertuigen wat de specifieke voorschriften voor de elektrische aandrijflijn betreft [2015/505],” 2014. [Online]. Available: <https://op.europa.eu/nl/publication-detail/-/publication/fd8e6b47-d767-11e4-9de8-01aa75ed71a1>. [Geopend 28 September 2021].
- [20] ISO, *ISO 6469 -Safety specifications — Part 1: Rechargeable energy storage system (RESS)*, 2016.
- [21] SAE, *SAE J2344_202010 Guidelines for Electric Vehicle Safety*, SAE, 2020.
- [22] „TC 69 - Electrical power/energy transfer systems for electrically propelled road vehicles and industrial trucks,” [Online]. Available: https://www.iec.ch/ords/f?p=103:7:627507056717907:::FSP_ORG_ID:1255. [Geopend 28 September 2021].
- [23] NEN, „NEN 1010 - Elektrische installaties voor laagspanning,” 01 04 2021. [Online]. Available: <https://www.nen.nl/nen-1010-2020-nl-272897>.
- [24] NEN, „Veilig werken aan e-voertuigen met NEN 9140,” [Online]. Available: <https://www.nen.nl/en/elektrotechniek/werkvoorschriften/e-voertuigen>. [Geopend 04 10 2021].
- [25] Various, „Liquid battery cooling,” 2021. [Online]. Available: <https://www.greencarfuture.com/electric/evs-liquid-cooled-batteries/>; <https://enrg.io/which-electric-cars-have-liquid-cooled-batteries/>; <https://www.emobility-engineering.com/ev-battery-cooling/>.
- [26] AIAG, „Automotive Core Tools - (APQP - PPAP - FMEA - MSA - SPC),” [Online]. Available: <https://www.aiag.org/quality/automotive-core-tools>. [Geopend 2021].

- [27] IATF, „IATF 16949:2016 – Kwaliteitsmanagementsysteem voor de auto-industrie,” [Online]. Available: <https://www.iatfglobaloversight.org/iatf-169492016/about/>. [Geopend 2021].
- [28] European Commission, „Green Deal: Sustainable batteries for a circular and climate neutral economy,” 10 Dec 2020. [Online]. Available: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_20_2312.
- [29] Europese Commissie, „Voorstel voor een VERORDENING VAN HET EUROPEES PARLEMENT EN DE RAAD inzake batterijen en afgedankte batterijen,” 10 Dec 2020. [Online]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52020PC0798>.
- [30] E. groupe, „Vehicle battery approval - UN EE R100,” [Online]. Available: <https://www.emitech.fr/en/vehicle-battery-approval-un-ece-r100-rev2>.
- [31] Fredrik Larsson and Bengt-Erik Mellander, „Lithium-ion Batteries used in Electrified Vehicles – General Risk Assessment and Construction Guidelines from a Fire and Gas Release Perspective,” RISE Rapport 2017:41, Borås, 2017.
- [32] Y. Z. Li, „Study of fire and explosion hazards of alternative fuel vehicles in tunnels,” RISE rapport 2018:20, Borås, 2018.
- [33] Willstrand, Bisschop, Blomqvist, Temple, Anderson, „Toxic Gases from Fire in Electric Vehicles,” RISE Report 2020:90, 2020.
- [34] Roeland Bisschop, Ola Willstrand, Francine Amon, Max Rosengren, „Fire Safety of Lithium-Ion Batteries in Road Vehicles,” RISE Report 2019:50, Borås, 2020.
- [35] Roeland Bisschop, Ola Willstrand and Max Rosengren, „Handling Lithium-Ion Batteries in Electric Vehicles Preventing and Recovering from Hazardous Events,” *Fire Technology*, vol. 56, p. 2671–2694, 2020.
- [36] Sun, Hyang, Bisschop and Niu, „A Review of Battery Fires in Electric Vehicles,” *Fire Technology*, vol. 56, pp. 1361-1410, 2020.
- [37] Brandweeracademie (IFV), „Onderbouwing van risico op elektrocutie/ elektrische schok bij incidenten met e-voertuigen,” 07 Dec 2020. [Online]. Available: www.ifv.nl.
- [38] ADAC, „Reddingskaart,” [Online]. Available: http://rescuesheet.info/seite_3_nl.html. [Geopend 4 10 2021].
- [39] Moditech rescue solutions, „Crash Recovery System,” [Online]. Available: <https://www.moditech.com/crash-recovery-system/>. [Geopend 18 09 2021].
- [40] Nederland Stichting Incident Management, „Electrische voertuigen getemd,” 2021 06 11. [Online]. Available: <https://www.stichtingimn.nl/210511-elektrische-voertuigen-getemd.php>. [Geopend 28 09 2021].
- [41] e-drivers.com, „Rosenbauer introduceert blussysteem voor elektrische voertuigen,” 11 10 2021. [Online]. Available: <https://e-drivers.com/rosenbauer-introduceert-blussysteem-voor-elektrische-voertuigen/>. [Geopend 20 12 2021].
- [42] Instituut Fysieke Veiligheid, „Database met incidenten met alternatief aangedreven voertuigen,” [Online]. Available: <https://www.ifv.nl/onderzoek/Paginas/Onderzoeken-voertuigen-op-duurzame-energie.aspx#tab3>. [Geopend 16 09 2021].
- [43] Instituut Fysieke Veiligheid, „Kerncijfers alternatief aangedreven voertuigen,” [Online]. Available: <https://kerncijfers.ifv.nl/mosaic/kerncijfers-veiligheidsregio-s/incidenten-met-alternatief-aangedreven-voertuigen/>. [Geopend 17 09 2021].
- [44] K. Vollmacher, „Voorstellen om de veiligheid voor eerste en tweede lijns hulpverleners te verbeteren,” 2021.
- [45] Euro NCAP, „Safety assist,” [Online]. Available: <https://www.euroncap.com/en/for-engineers/protocols/safety-assist/>. [Geopend 14 10 2021].
- [46] CEN CENELEC, „NEN-EN 50110-1:2013 Operation of electrical installations,” 01 03 2013. [Online]. Available: <https://www.nen.nl/en/nen-en-50110-1-2013-en-181671>.
- [47] IFV, „Brandveiligheid van parkeergarages met elektrisch aangedreven voertuigen (v1.2),” 2021.
- [48] FFG, „BRAFA - Brandauswirkungen von Fahrzeugen mit alternativen Antriebssystemen,” [Online]. Available: <https://projekte.ffg.at/projekt/3290205>. [Geopend 12 11 2021].
- [49] EurekAlert, „Fire tests show that Austria's tunnels are fit for electric cars,” [Online]. Available: <https://www.eurekalert.org/news-releases/930916>. [Geopend 2021 12 3].
- [50] Research Group Arbeitsgruppe Tunnelforschung, „Risk minimisation of electric vehicle fires in underground traffic structures,” <http://www.mobilityplatform.ch/>, 2020.
- [51] Instituut Fysieke Veiligheid, „FAQ Brandveiligheid elektrische voertuigen en laadpalen in parkeergarages,” [Online]. Available: <https://www.ifv.nl/nieuws/Paginas/FAQ-Brandveiligheid-elektrische-voertuigen-en-laadpalen-in-parkeergarages.aspx>. [Geopend 21 09 2021].
- [52] overheid.nl, „Verzamelwijziging Bbl parkeergarages, woonfunctie voor zorg en daglicht,” [Online]. Available: <https://www.internetconsultatie.nl/verzamelwijzigingbbl2021>. [Geopend 21 09 2021].

- [53] IGNES, „Infrastructures de recharge pour véhicules électriques (IRVE) - Recueil pratique,” 2019. [Online]. Available: https://ignes.fr/wp-content/uploads/2019/01/recueil_pratique_irve.pdf.
- [54] Jiang et al., „Review of the Charging Safety and Charging Safety Protection of Electric Vehicles,” *World Electric Vehicle Journal*, vol. 12, nr. 4, p. 184, 2021.
- [55] Brandweeracademie (IFV), „De brand in de Singelgarage te Alkmaar,” 2020. [Online]. Available: <https://www.ifv.nl/kennisplein/Documents/20201021-BA-Brand-Singelgarage-Alkmaar.pdf>.
- [56] MRA-Elektrisch, „Snelladen in de regio Noordwest,” 28-06-2021.
- [57] M. & Natuur, „De elektrische vrachtwagen in opkomst,” 2020.
- [58] Programma Impuls Omgevingsveiligheid (IOV), „Kennisdocument veiligheid multi-fuel tankstations,” Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 29 jan 2021.
- [59] IFV, „Veiligheidsaspecten van multifuel tankstations,” 12 jan 2021.
- [60] NKL, „Roadmap Logistieke Laadinfra”.
- [61] Topsector Logistiek, „Laadinfrastructuur voor elektrische voertuigen in stadslogistiek,” 2019-08-13.
- [62] IEC, „IEC 61851-1 Electric vehicle conductive charging system - Part 1: General requirements,” 2017. [Online]. Available: <https://webstore.iec.ch/publication/33644>. [Geopend 28 September 2021].
- [63] „IEC 62196-1 - Plugs, socket-outlets, vehicle connectors and vehicle inlets - Conductive charging of electric vehicles - Part 1: General requirements,” 2014. [Online]. Available: <https://webstore.iec.ch/publication/6582>.
- [64] IFV, „Brandweeroptreden nabij laadinfrastructuur,” 2020.
- [65] RISE, „Acoustic Vehicle Alerting Systems will they affect the rise of electric vehicles,” RISE, 2018.
- [66] NEN, „NEN 9140:2019 Veilig werken aan e-voertuigen,” [Online]. Available: <https://www.nen.nl/en/nen-9140-2019-nl-258503>. [Geopend 04 10 2021].
- [67] BMWt, „Factsheet Duurzaam Materieel,” BMWt, 2020.
- [68] Elaad, „Elektrisch bouwen - de ontwikkeling van de elektrische bouwplaats in Nederland t/m 2035,” 2021.
- [69] „KWS,” [Online]. Available: <https://www.kws.nl/nl/nieuws/detail/eerste-100-elektrische-asfaltspreidmachine-klaar-voor-productie>. [Geopend 28 September 2021].
- [70] Vereniging Bouw- en Woontoezicht Nederland, „Landelijke richtlijn bouw- en sloopveiligheid,” 2018. [Online]. Available: <https://www.bwtinfo.nl/dossiers/richtlijn-bouw-en-sloopveiligheid>.
- [71] Veiligheidsregio Rotterdam Rijnmond, „Handreiking Elektriciteit Opslag Systemen (EOS > 20 kWh Li-ion),” 2020.
- [72] European Commission, „ATEX 2014/34/EU Guidelines,” [Online]. Available: <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/41403>. [Geopend 11 10 2021].
- [73] Alkè, „ATEX Electric Vehicles,” [Online]. Available: <https://www.alk.com/atex-electric-vehicles>. [Geopend 15 10 2021].
- [74] Breytner, „Lancering mobiele snelladers binnen gezamenlijk subsidie project VERZET,” 2021. [Online]. Available: <https://breytner.com/lancering-mobiele-snelladers-binnen-gezamenlijk-subsidie-project-verzet/>.
- [75] R. acculaadstation. [Online]. Available: <https://www.imaonline.nl/vragen/23-acculaadstation-432937>. [Geopend 28 September 2021].
- [76] „RDW,” [Online]. Available: <https://www.rdw.nl/zakelijk/branches/fabrikanten-en-importeurs/typegoedkeuring-aanvragen/typegoedkeuren-voertuigen/voertuigcategorien>. [Geopend 28 September 2021].
- [77] Nederland, Transport en Logistiek, „Update - Nóg meer steden maken zero-emissie zone bekend,” [Online]. Available: <https://www.tln.nl/nieuws/steeds-meer-steden-maken-zero-emissie-zone-bekend/>. [Geopend 16 09 2021].
- [78] Rijksoverheid, „Kamerbrief over ontwerpbesluit wijziging Reglement verkeersregels en verkeerstekens vanwege tijdelijke voorwaarden en overgangsbepalingen van nul-emissiezones,” [Online]. Available: <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/kamerstukken/2021/07/09/ontwerpbesluit-wijziging-reglement-verkeersregels-en-verkeerstekens-tijdelijke-voorwaarden-en-overgangsbepalingen-van-nul-emissiezones-tijdelijk-besluit-nul-emissiezones>. [Geopend 16 09 2021].
- [79] Nederland, Transport en Logistiek, „Voorstel ontheffingen zero-emissiezone,” [Online]. Available: <https://www.tln.nl/nieuws/voorstel-ontheffingen-zero-emissiezone/>. [Geopend 16 09 2021].
- [80] Stichting Incident Management Nederland, „Electrische voertuigen getemd,” 2021 06 11. [Online]. Available: <https://www.stichtingimn.nl/210511-elektrische-voertuigen-getemd.php>. [Geopend 28 09 2021].
- [81] CE Delft, „Conceptrapportage elektrische bussen,” 2022.

APPENDIX A

Afkortingen

Tabel A-1 Lijst van afkortingen

BEV	Batterij-Elektrische Voertuig
BMS	Batterij Management Systeem
CCS	Combined Charging System
DoD	Depth of Discharge (ontlaaddiepte)
EV	Electric Vehicle / Elektrisch Voertuig
FCEV	Fuel Cell Electric Vehicle
HPC	High-Power Charging
ICE	Internal Combustion Engine (interneverbrandingsmotor)
LFP	Lithium Iron Phosphate (lithium ijzerfosfaat; type Li-ion batterijchemie)
Li-ion	Lithium-ion (batterijchemie)
MCS	Megawatt Charging System
MFT	Multi-Fuel Tankstation
MMS	Motor Management Systeem
NMC	Nickel Manganese Cobalt (nikkel mangaan kobalt; type Li-ion batterijchemie)
OBD	On-Board Diagnostics
OEM	Original Equipment Manufacturer, d.i. de autofabrikant
PHEV	Plug-in Hybride-Elektrisch Voertuig
SoC	State of Charge (= energieniveau = actuele energie-inhoud als percentage van de restcapaciteit)
SoH	State of Health (= restcapaciteit als percentage van de originele capaciteit)
VMS	Voertuig Management Systeem
V2G	Vehicle-to-Grid
UPS	Uninterruptible Power Supply

APPENDIX B

Begeleidingsgroep en geïnterviewden

Samenstelling begeleidingsgroep

Tabel B-1 Begeleidingsgroep van deze studie

Organisatie	Contactpersoon
RVO	Sipke Castelein
RVO	Suzan Reitsma
RVO	Bregje van Keulen
Nationaal Actieplan Laadinfrastructuur – Logistiek; APPM	Mark van Kerkhof
ElaadNL	Paul Broos
Nationaal Kennisplatform Laadinfrastructuur (NKL)	Robert van den Hoed
Rijkswaterstaat	Nico van den Berg
Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat	Paul Penders
Instituut voor Fysieke Veiligheid	Johan van der Graaf

Geïnterviewde partijen

Tabel B-2 Lijst met geïnterviewde belanghebbenden

Organisatie	Contactpersoon	Status
BMWV	Albert Lusseveld	Geïnterviewd
Breytner	Marie-Jose Baartmans Jeroen Baartmans	Geïnterviewd
Heijmans	Stefan Daamen	Geïnterviewd
Albert Heijn	Alannah Hoenderdaal	Geïnterviewd
Urban Mobility Systems (UMS)	Lars Kool	Geïnterviewd
Service Machinery Trucks (SMT)	Ben Möhlmann	Geïnterviewd
Instituut Fysieke Veiligheid (IFV)	Tom Hessels	Geïnterviewd
Volvo	Wijnand van den Brink John Timmers	Geïnterviewd
RAI Vereniging	Wout Benning	Geïnterviewd
DHL	Wout Zellenrath	Geïnterviewd
Gemeente Utrecht	Matthijs Kok	Geïnterviewd
Veiligheidsregio	Sasbout Koning	Geïnterviewd
BOVAG	Aad Verkade	Geïnterviewd



About DNV

DNV is the independent expert in risk management and assurance, operating in more than 100 countries. Through its broad experience and deep expertise DNV advances safety and sustainable performance, sets industry benchmarks, and inspires and invents solutions.

Whether assessing a new ship design, optimizing the performance of a wind farm, analyzing sensor data from a gas pipeline or certifying a food company's supply chain, DNV enables its customers and their stakeholders to make critical decisions with confidence.

Driven by its purpose, to safeguard life, property, and the environment, DNV helps tackle the challenges and global transformations facing its customers and the world today and is a trusted voice for many of the world's most successful and forward-thinking companies.