

Brandveiligheid van parkeergarages met elektrisch aangedreven voertuigen



Instituut Fysieke Veiligheid
Kennisonwikkeling en onderwijs
Postbus 7010



www.ifv.nl



Colofon

Instituut Fysieke Veiligheid (2020). *Brandveiligheid van parkeergarages met elektrisch aangedreven voertuigen*. Arnhem: IFV

Titel:	Brandveiligheid van parkeergarages met elektrisch aangedreven voertuigen
Datum:	15 juli 2021
Status:	Definitief
Versie:	1.2
Auteurs:	[Redacted]
Projectleider:	[Redacted]
Review:	[Redacted]
Eindverantwoordelijk:	[Redacted]

Voorwoord

Ik rijd een elektrisch aangedreven voertuig. Als er door het IFV een onderzoek over de brandveiligheid van parkeergarages met elektrisch aangedreven voertuigen wordt gepubliceerd, heeft dat natuurlijk mijn speciale aandacht. Ook ik parkeer en laad immers in parkeergarages.

De energietransitie denderd voort. Veiligheidsregio's en brandweer hebben de handen vol aan – alleen al – het bijhouden van de duurzame ontwikkelingen die zich in onze maatschappij voltrekken. De elektrificatie van de samenleving zien we op tal van fronten een grote vlucht nemen, zo ook op dat van elektrisch aangedreven voertuigen. Die elektrische auto's moeten opgeladen en geparkeerd worden, en parkeergarages zijn daarvoor natuurlijk een goede mogelijkheid. Parkeergarages zijn echter niet ontworpen met het oog op elektrische auto's en het opladen daarvan. De opkomst van dit soort auto's vraagt dan ook om speciale aandacht voor de brandveiligheid van parkeergarages. De vergelijking van branden van conventionele voertuigen en elektrische voertuigen maakt duidelijk dat er andersoortige risico's gepaard gaan met elektrische voertuigen. Juist in de context van parkeergarages worden die risico's van elektrische voertuigen extra belangrijk. De repressieve mogelijkheden voor brandbestrijding in parkeergarages zijn al gelimiteerd, maar worden nog eens extra beperkt als gevolg van (het parkeren en opladen van) elektrisch aangedreven voertuigen. Daarom moeten de aangrijpingspunten voor brandveiligheid met name in de preventieve hoek gezocht worden en nog veel eerder in de keten: in de productie van de elektrische voertuigen en bijbehorende battery packs.

De voorliggende publicatie beschouwt op genuanceerde wijze de genoemde brandveiligheidsproblematiek. Onderzoekers van het IFV hebben, in samenspraak met brandpreventisten en deskundigen van de repressieve dienst, een set maatregelen ontwikkeld die kunnen helpen bij het realiseren van brandveilige parkeergarages met elektrisch aangedreven voertuigen. Grote dank gaat uit naar de specialisten uit de veiligheidsregio's die zitting hadden in de klankbordgroep: [REDACTED] (VRAA), [REDACTED] (VRR), [REDACTED] (VRR), [REDACTED] (VRH), [REDACTED] (VRU) en [REDACTED] (VRH). Met hen hebben de drie betrokken lectoraten van het IFV een inhoudelijk huzarenstuk geleverd. Met Brandweer Nederland is daarnaast procesmatig puik werk geleverd: door een intensieve afstemming zijn we er onder hoge tijdsdruk en ondanks de vele meningen en grote belangen die speelden in geslaagd een eenduidig geluid ten gehore te brengen omtrent de brandveiligheid van parkeergarages met elektrisch aangedreven voertuigen.

En voor mijzelf: ik rijd elektrisch en ben van plan dat te blijven doen, net als laden en parkeren in garages. Wel verwacht ik daarvoor van de ontwerpers en beheerders van parkeergarages, van omgevingsdiensten en veiligheidsregio's dat zij met elkaar het gesprek blijven voeren of aan zullen gaan om gezamenlijk tot brandveilige parkeergarages te komen.

[REDACTED]

Directeur Instituut Fysieke Veiligheid

Abstract

Background, purpose and research method

Electric vehicles have become an integral part of our streetscape. They also need to be parked and charged, which is partly done in indoor car parks. The fire safety of indoor car parks with capacity for electrically powered vehicles is therefore a topical issue. In order to answer questions on this subject, IFV has written this paper.

Designers and owners/operators of indoor car parks, and the fire service's safety advisor can use this paper and the potential measures described in it as input when discussing the fire safety of indoor car parks with capacity for electric vehicles.

This summary presents a brief outline of the paper. Since, by definition, this summary cannot do full justice to the many subtleties, anyone actually putting this subject matter into practice should read the full paper.

Background

The safety risks of electric vehicles are different to those of conventional vehicles running on fossil fuels, but apart from that, fire safety has always been a dilemma in indoor car parks. Experiences with some major fires in indoor car parks in recent years have shown that standard design principles have often failed to keep pace with the reality of fires. Dutch building regulations, standards and guidelines are still based on the characteristics of fires involving conventional vehicles. However, modern cars, with their high plastic content, have a greater fire load and fire capacity than older steel models. And recent decades have seen the addition of electric vehicles and the need to charge them.

The public debate tends to narrow down the safety discussion and the differences between electric vehicles and conventional vehicles to merely a comparison between these different types of cars. However, the differences between electric and conventionally fuelled vehicles should be considered as a whole, related to the fire safety of indoor car parks, where electric vehicles are not only parked, but also charged – and that is what this paper intends. It answers the question of how this development can be handled from a fire prevention and repression point of view.

This study was conducted following a request from the Netherlands Fire Service. This paper provides guidance for fire safety advisers and those combating incidents who work for the security regions. Of course, other parties involved in the development, construction and operation of indoor car parks can also use this paper.

The IFV has conducted a desktop study to gain a better understanding of the safety risks of electric vehicles and of charging them. The knowledge thus gained was translated into practical measures through a number of sessions with fire safety specialists at the Netherlands Fire Service, specialising in fire prevention and repression.

Other types of risks

Parking and charging electric vehicles in indoor car parks introduce some specific risks and uncertainties. Many electric vehicles use lithium-ion battery packs to store energy. If these battery packs catch fire, they have their own specific fire development and burning time. Furthermore, the composition of highly toxic and corrosive substances released in a fire in an electric vehicle is different from that in a conventional vehicle. These risks make it all the more difficult or even impossible to fight fires, particularly in indoor car parks. Further studies are needed to get a better understanding of the probability of fire in an electric vehicle in the context of an indoor car park, because this may involve some additional causes of fire (e.g. charging). Moreover, other factors, such as the extent to which production defects and ageing play a role in the probability of fire, are still unknown as well.

Measures

This paper sets out several potential measures that could increase the fire safety of indoor car parks with capacity for electric vehicles. Although the risk of a fire or an inability to suppress it can never be completely ruled out, the measures are also intended to minimise the residual risk of such fires occurring. The measures are subdivided into categories: architectural, installations, organisational and repression. The paper also identifies various 'general measures': these have been specifically identified as a result of the comprehensive safety analysis (the combination of indoor car park and electric vehicle). As well as contributing to the indoor car park's fire safety in general, these measures specifically focus on the problem of electric vehicles and charging them.

A good example of this is a sprinkler or water mist system. This enables the probability of fire spreading to adjacent structures and vehicles to be reduced. Generally speaking, this applies to a fire in a conventionally fuelled vehicle, but it definitely also applies to a fire in an electric vehicle. Some of the differences in fire development and the greater complexity of fighting a fire in an electric vehicle make containing a fire in its initial stage all the more important. A sprinkler system is well suited to this, because the fire is tackled 'at source', increasing the probability of preventing it from developing into a major incident.

The measures should not be considered as a complete package that applies to all situations, but depend on the construction, layout, etc. of the indoor car park and can be used to create a bespoke set of measures to reduce fire safety risks. Moreover, the measures are not a detailed standard, but input to enable bespoke arrangements. Some examples of measures related to the specific fire safety risks posed by electric vehicles are given below.

Architectural

Measures can be taken to protect the building against the different types of fire development (long-term, re-ignition and possible flare fires). An example would be to add extra protection to the building structure near parking spaces with chargers. To reduce the probability of fire, charging stations can be fitted with collision protection, or placed in locations where collisions are impossible.

Installation measures

Installation measures can be taken to mitigate the risks of charging electric vehicles and of possible toxic combustion products. An example would be a facility that enables the current to all the chargers to be interrupted by means of a single action by those present or by the fire service. When it comes to toxic combustion products, it is important to give careful

consideration during the design process to the location of parking spaces for electric vehicles and charging stations/facilities relative to ventilation openings and escape routes. Furthermore, the use of displacement ventilation/smoke and heat removal can help to increase the probability of a successful offensive interior attack. Exhaust ducts should be positioned to minimise the probability of any nuisance to the environment being caused by combustion products escaping from the indoor car park.

Organisational measures

Examples of organisational measures would be instructions for the use of the indoor car park and its charging facilities (including maintenance) and informing drivers about what to do in the event of a fire and how to deal with error messages from the battery management system (BMS). Finally, the option of not charging and/or parking any electric vehicles in the indoor car park could be considered.

Measures for fire suppression

Fighting fires involving electric vehicles in an indoor car park is complex: in general, an offensive interior attack is *not* a safe option in an indoor car park. It is often not clear which vehicles are on fire and how they are fuelled. The depths of attack are often considerable, the logistics are complex and the space for working is limited. Large amounts of water are needed for a long period of time in order to cool effectively; the extinguishing water supply and water extraction should be designed for this. Contaminated cooling water requires attention for environmental reasons. And moreover, it is still a matter of discussion how responsibilities should be divided between the salvaging company and those combating the incident. In order to increase the fire service's options in its attempts to fight the fire – provided that the commanding officer on site chooses to do so – a number of measures can be considered. These include: rapid fire alarms and follow-up if a fire has started, smoke removal, proper accessibility (taking up position close to entrances and exits and at street level) and installing a sprinkler system. Taking up position close to the entrance and exit is also preferable in view of salvaging options for electric vehicles. Identifying the locations where electric vehicles are parked helps the fire service form an initial picture of the incident. Finally, during the planning stage, attention could be paid to how an electric vehicle can be moved outside after a fire has been extinguished, e.g. for cooling it in a water tank.

The future

Further studies into the impact of developments in vehicle technology, battery technology and information technology on the fire safety of indoor car parks with capacity for electric vehicles are needed. As a consequence, it may be necessary to adjust building regulations in order to keep pace with the developments described. In addition, further studies are needed into, for example, the probability of fire and underlying causes such as production defects, ageing and traffic accidents. Studies into the effects of the thermal load on the structure caused by an electric vehicle on fire, fast and adequate detection capabilities and the effectiveness of fire control systems would also be useful. Further studies into how robots could be used and how their applications could be extended would be very welcome. Several of these studies have already been started, one of them being a study into the possibilities of getting water directly into the vehicle's battery pack in the event of a fire.

Finally, we have published this paper in order to contribute to increasing fire safety in indoor car parks and reducing residual risks. The potential measures described in the paper, as well as the various ongoing and future studies, may be quite helpful in this respect.

Samenvatting

Aanleiding, doel en methode

Elektrisch aangedreven voertuigen zijn niet meer weg te denken uit ons straatbeeld. Deze voertuigen moeten ook geparkeerd en opgeladen worden, en voor een deel vindt dit plaats in parkeergarages. De brandveiligheid van parkeergarages met elektrisch aangedreven voertuigen is daarom een actueel onderwerp. Om antwoord te geven op de vragen die er over dit onderwerp leven, heeft het IFV voorliggende publicatie geschreven. Aan de hand van deze publicatie en mogelijke maatregelen die daarin worden beschreven, kan in overleg tussen ontwerper, veiligheidsadviseur van de brandweer en eigenaar/beheerder een gesprek worden gevoerd over de brandveiligheid van parkeergarages met elektrisch aangedreven voertuigen. Deze samenvatting is bedoeld om in kort bestek de hoofdlijn van de publicatie samen te vatten. Daarmee wordt per definitie tekortgedaan aan de vele nuances. Dus diegenen die met deze materie aan de slag gaan, verwijzen we door naar de gehele publicatie.

Elektrisch aangedreven voertuigen kennen andersoortige veiligheidsrisico's dan conventionele (fossiel aangedreven) voertuigen, maar los daarvan bestaan erop zichzelf al brandveiligheidsdilemma's bij parkeergarages. Gezien de ervaringen bij enkele grote branden in parkeergarages de afgelopen jaren, blijken de standaard ontwerputgangspunten steeds vaker achter te lopen op de realiteit van de branden. Ook de Nederlandse bouwregelgeving, normen en richtlijnen zijn nog altijd gebaseerd op kenmerken van branden met conventionele voertuigen. Moderne voertuigen hebben echter, mede door het gebruik van veel kunststoffen, een hogere vuurlast en brandvermogen dan de oudere stalen modellen. De laatste decennia komen daar ook nog eens de elektrische auto en het opladen daarvan bij.

In het maatschappelijk debat worden de veiligheidsdiscussie en de verschillen tussen elektrisch aangedreven voertuigen en conventionele voertuigen nogal eens verengd tot uitsluitend een vergelijking tussen deze verschillende typen auto's. Het is echter nodig de verschillen integraal te beschouwen in de context van de brandveiligheid van de parkeergarage, waar elektrische voertuigen niet alleen geparkeerd staan, maar ook worden opgeladen – en dat is wat deze publicatie beoogt. Zij geeft antwoord op de vraag hoe vanuit brandpreventief (risicobeheersing) en repressief (incidentenbestrijding) oogpunt moet worden omgegaan met de brandveiligheid van parkeergarages waarin elektrisch aangedreven voertuigen worden geparkeerd en geladen. Het verzoek tot beantwoorden van deze vraag is gekomen van Brandweer Nederland. Deze publicatie biedt handvatten voor brandveiligheidsadviseurs en incidentenbestrijders van veiligheidsregio's. Uiteraard kunnen ook andere partijen die betrokken zijn bij de ontwikkeling, realisatie en beheer van parkeergarages haar gebruiken.

Medewerkers van het IFV hebben literatuur bestudeerd over de veiligheidsrisico's van elektrisch aangedreven voertuigen en het laden daarvan. De doorvertaling van de opgedane kennis naar praktische maatregelen heeft in enkele sessies met (preventieve en repressieve) brandveiligheidsspecialisten vanuit Brandweer Nederland plaatsgevonden.

Andersoortige risico's

Met het parkeren en laden van elektrisch aangedreven voertuigen in parkeergarages ontstaat een aantal specifieke risico's en onzekerheden. Elektrisch aangedreven voertuigen gebruiken veelal lithium-ion battery packs als energieopslag. Branden in dergelijke battery packs wijken af in met name het brandverloop en de brandduur. Daarnaast wijkt de samenstelling van de zeer giftige en bijtende stoffen die vrijkomen bij een brand in een elektrisch aangedreven voertuig af ten opzichte van die van een conventioneel voertuig. Deze risico's dragen eraan bij dat brandbestrijding, zeker in parkeergarages, mogelijk beperkt of helemaal niet kan plaatsvinden. Nader onderzoek is nodig om meer inzicht te krijgen in de kans op brand in een elektrisch aangedreven voertuig in de context van een parkeergarage, omdat er in dat geval sprake kan zijn van additionele brandoorzaken (zoals bijvoorbeeld het opladen). Bovendien is nog onbekend in hoeverre productiefouten en veroudering een rol spelen bij de kans op brand.

Maatregelen

In deze publicatie is een set van mogelijke maatregelen geformuleerd, waarmee de brandveiligheid van parkeergarages met elektrisch aangedreven voertuigen kan worden vergroot. Hoewel een (onbestrijdbare) brand nooit geheel kan worden uitgesloten, zijn de maatregelen mede bedoeld om het restrisico daarop zo klein mogelijk te houden. Deze maatregelen zijn onderverdeeld in de categorieën: bouwkundig, installatietechnisch, organisatorisch, en repressief. Daarnaast zijn er ook diverse algemene maatregelen genoemd, juiste deze zijn genoemd vanwege de integrale beschouwing van de brandveiligheid (parkeergarage én elektrisch aangedreven voertuig). Deze maatregelen kunnen zowel bijdragen aan de brandveiligheid van de parkeergarage in het algemeen, als aan het beperken van de risico's als gevolg van elektrisch aangedreven voertuigen en het laden daarvan.

Een sprinkler- of watermistinstallatie is hiervan een voorbeeld. Hiermee kan de kans op branduitbreiding naar aangrenzende constructies en voertuigen worden verkleind, niet alleen bij een brand in een conventioneel aangedreven voertuig, maar zeker ook bij een brand in een elektrisch aangedreven voertuig. Daarvoor is het namelijk, mede vanwege een aantal verschillen in brandverloop en de complexere bestrijdbaarheid des te meer van belang dat de brand in het beginstadium beperkt wordt gehouden. Een sprinklerinstallatie is dan passend, omdat de brand 'bij de bron' wordt aangepakt en de kans om het incident klein te houden groter wordt.

De maatregelen moeten niet gelezen worden als een optelsom, maar zijn afhankelijk van de constructie, lay-out en dergelijke van de parkeergarage en kunnen gebruikt worden om een maatwerkpakket samen te stellen waarmee brandveiligheidsrisico's kunnen worden verkleind. Bovendien zijn de maatregelen ook geen norm tot in detail, maar input voor maatwerk. Hieronder worden voorbeelden gegeven van een aantal maatregelen die verband houden met de specifieke brandveiligheidsrisico's van elektrisch aangedreven voertuigen.

Bouwkundig

Vanwege de andersoortige brandontwikkeling (langdurig, kans op herontbranding en mogelijke fakkelbranden) kunnen maatregelen genomen worden die de constructie van de parkeergarage beter beschermen. Denk daarbij bijvoorbeeld aan extra bescherming van de bouwconstructie nabij parkeerplekken met een laadvoorziening. Verder is het van belang om doorvoeringen door brandwerende scheidingsconstructies goed dicht te zetten. Om de kans op brand te verkleinen, kunnen de laadpalen voorzien worden van aanrijbeveiliging, of worden geplaatst op een plek waar aanrijden onmogelijk is.

Installatietechnische maatregelen

Met het oog op de risico's van elektrisch laden en van toxische verbrandingsproducten kunnen maatregelen van installatietechnische aard worden genomen. Te denken valt aan een voorziening waarmee bij calamiteiten in één handeling alle laadvoorzieningen stroomloos kunnen worden geschakeld. In relatie tot de toxische verbrandingsproducten is het van belang om bij het ontwerp goed na te denken over de plaats van de parkeerplaatsen voor elektrisch aangedreven voertuigen en de laadpalen/-voorzieningen ten opzichte van ventilatieopeningen en vluchtroutes. Verder kan toepassing van verdringingsventilatie/RWA helpen om de kans op een offensieve binneninzet te vergroten. Afvoerkanalen dienen zo gepositioneerd te worden dat zoveel mogelijk wordt voorkomen dat verbrandingsproducten overlast voor de omgeving veroorzaken.

Organisatorische maatregelen

Bij organisatorische maatregelen kan gedacht worden aan instructies die zijn gericht op het gebruik van de parkeergarage en de laadvoorzieningen (inclusief het onderhoud daarvan), en het informeren van de voertuigbestuurders over wat te doen bij brand en hoe om te gaan met storingsmeldingen van het battery management system. Ook kan de mogelijkheid overwogen worden om in de parkeergarage geen elektrisch aangedreven voertuigen te laden en/of te parkeren.

Maatregelen ten behoeve van de repressieve inzet

De brandbestrijding van elektrisch aangedreven voertuigen in parkeergarages is complex: een offensieve binneninzet door de brandweer is over het algemeen *niet* veilig mogelijk. Het is doorgaans niet duidelijk welke voertuigen er branden en met welke brandstoffen. De inzetdieptes zijn veelal aanzienlijk, de logistiek is complex en de werkruimtes zijn beperkt. Er is langdurig veel water nodig om effectief te kunnen koelen; daarop zouden de bluswatervoorziening en waterwinning ingericht moeten worden. Vervuild koelwater vraagt aandacht met het oog op het milieu. Bovendien is de verantwoordelijkheidsverdeling tussen de berger en de incidentenbestrijders een punt van afstemming. Om de mogelijkheid voor de brandweer om de brand te bestrijden te vergroten (in het geval de lokale bevelvoerder daarvoor kiest), kan worden gedacht aan een aantal maatregelen, zoals: een snelle melding van de brand en opvolging daarvan, de afvoer van rook, een goede bereikbaarheid (positionering van elektrisch aangedreven voertuigen dicht bij de in- en uitritten en op straatniveau) en het aanbrengen van een sprinklerinstallatie. Ook met het oog op bergingsmogelijkheden heeft een positionering dicht bij de in- en uitrit de voorkeur. Het herkenbaar maken van de plekken waar elektrisch aangedreven voertuigen geparkeerd staan, helpt de brandweer bij de eerste beeldvorming van het incident. Tenslotte kan er in de planvorming aandacht besteed worden aan de wijze waarop een elektrisch aangedreven voertuig na blussing naar buiten kan worden verplaatst, om vervolgens bijvoorbeeld in een dompelbak met water te kunnen worden gekoeld.

De toekomst

Nader onderzoek naar de impact van ontwikkelingen in voertuig-, batterij- en informatietechnologie op de brandveiligheid van elektrische voertuigen in parkeergarages is nodig. Daarbij kan niet worden uitgesloten dat het noodzakelijk zal zijn om de bouwregelgeving aan te passen om met de ontwikkelingen gelijke tred te houden. Op 10 juli 2021 is een voorgenomen wijziging van het toekomstige Bbl (Besluit bouwwerken leefomgeving) in consultatie gegaan waarin voor bepaalde parkeergarages een sprinklerinstallatie verplicht wordt. Daarnaast is nader onderzoek nodig naar bijvoorbeeld de kans op brand en de achterliggende oorzaken zoals productiefouten, veroudering en ongelukken in het verkeer. Ook onderzoek naar het effect van de thermische belasting op de constructie van de parkeergarage als gevolg van een brandend elektrisch aangedreven voertuig, naar snelle en adequate detectiemogelijkheden en de effectiviteit van brandbeheersingssystemen is wenselijk. Daarnaast kan worden gedacht aan onderzoek naar een (uitbreiding) van de toepassingsmogelijkheden van robots. Verschillende onderzoeken lopen reeds, zoals dat naar de mogelijkheden om bij een brand rechtstreeks water in de battery pack van het voertuig te krijgen.

Tenslotte: met de voorliggende publicatie beogen we een bijdrage te leveren aan het vergroten van de brandveiligheid in parkeergarages en aan het verkleinen van de reistrisico's. De in deze publicatie beschreven mogelijke maatregelen alsmede de diverse lopende en toekomstige onderzoeken kunnen daartoe dienstbaar zijn.

Inhoud

Abstract	4
Samenvatting	7
Inleiding	12
1 Fysische karakteristieken	22
1.1 Onderzoek naar elektrisch aangedreven voertuigen	22
1.2 De energievoorziening van elektrische voertuigen	23
1.3 Fysische karakteristieken	24
1.4 Verschillen tussen elektrische en conventionele voertuigen	30
2 Scenario's	35
2.1 Scenario 1	35
2.2 Scenario 2	35
2.3 Scenario 3	36
3 Maatregelen	37
3.1 Inleiding	37
3.2 Bouwkundige maatregelen	38
3.3 Installatietechnische maatregelen	39
3.4 Organisatorische maatregelen	43
3.5 Repressieve maatregelen	45
4 Brandbestrijdingstactieken	47
4.1 Basisprincipes van brandbestrijding	47
4.2 Mogelijkheden voor repressie of incidentbestrijding (kwadrantenmodel)	48
4.3 Blus- en koelwater	50
4.4 Overige aandachtspunten/opmerkingen	51
5 Beschouwing van aandachtspunten en maatregelen per type parkeergarage	52
5.1 Inleiding	52
5.2 Beschouwing van aandachtspunten en maatregelen per type parkeergarage	52
6 Kennishiaten en ontwikkelingen	58
6.1 Kennishiaten	58
6.2 Toekomstige ontwikkelingen	60
Literatuur	61
Bijlage 1 Overzicht veiligheidsnormen	65
Bijlage 2 Basisprincipes van brandbestrijding	67
Bijlage 3 Vergelijking van typen parkeergarages, maatregelen en aandachtspunten	68

Inleiding

Deze publicatie gaat over de (brand)veiligheid van parkeergarages met elektrisch aangedreven voertuigen en van laadvoorzieningen in parkeergarages. Zij geeft antwoord op de vraag hoe kan worden omgegaan met de toename van elektrisch aangedreven voertuigen in parkeergarages vanuit brandpreventief en repressief oogpunt. Deze publicatie geeft handvatten voor brandveiligheidsadviseurs en incidentbestrijders van veiligheidsregio's. Uiteraard kunnen ook andere partijen die betrokken zijn bij de ontwikkeling, realisatie en het beheer van parkeergarages deze publicatie gebruiken. Denk bijvoorbeeld aan ontwerpers, adviseurs, bouwers en beheerders van parkeergarages.

In deze inleiding worden verschillende onderdelen besproken:

- > de aanleiding tot het opstellen van deze publicatie
- > het doel en de vraagstelling
- > een beschrijving van het wettelijk kader op hoofdlijnen
- > de afbakening van de thematiek die in deze publicatie aan de orde komt.

Aanleiding

De energietransitie is een ontwikkeling die vraagt om een goede dialoog over veiligheidsniveaus en risicoafwegingen. Zij voltrekt zich ook in de mobiliteitssector, met als gevolg dat het aantal voertuigen op alternatieve brandstoffen significant toeneemt. Met voertuigen op alternatieve brandstoffen worden voertuigen¹ bedoeld die (deels) rijden op niet-fossiele brandstoffen, in het bijzonder elektrisch aangedreven voertuigen. Het betreft dan duurzamere en/of hernieuwbare brandstoffen. Volgens de RvO zijn er in 2019 in Nederland zo'n 67.000 elektrisch aangedreven voertuigen verkocht van de in het totaal ca. 450.000 nieuw verkochte personenauto's². Dat bedraagt ca. 15%. In het totaal stonden er eind 2019 ca. 218.000 elektrisch aangedreven voertuigen geregistreerd in Nederland. Op een totaal van ca. 8.800.000 geregistreerde personenauto's is dit ca. 2,5%.

Deze toename heeft uiteraard ook gevolgen voor parkeergarages, waar dergelijke voertuigen in steeds grotere mate te vinden zullen zijn, zeker indien daar speciale plaatsen met laadvoorzieningen voor worden aangelegd. De realisatie van dergelijke voorzieningen is inmiddels een feit geworden, gezien de wettelijke plicht op het aanleggen van laadvoorzieningen in nieuw te bouwen parkeergarages.³ Deze verplichting geldt (nu nog) niet voor bestaande parkeergarages.⁴

¹ Hiermee bedoelen we auto's die zijn bedoeld om op de openbare weg te rijden en in een parkeergarage geparkeerd en/of geladen kunnen worden.

² <https://www.rvo.nl/onderwerpen/duurzaam-ondernemen/energie-en-milieu-innovaties/elektrisch-rijden/stand-van-zaken/cijfers>

³ Afdeling 5.4 van het Bouwbesluit 2012.

⁴ Vanaf 1 januari 2025 voor bestaande parkeergarages onder utiliteitsbouw: tenminste 1 oplaadpunt (artikel 5.15 lid 3).

Met het parkeren en laden van elektrisch aangedreven voertuigen in parkeergarages ontstaat een aantal specifieke risico's en onzekerheden. Elektrisch aangedreven voertuigen gebruiken veelal 'lithium-ion battery packs' als energieopslag. Branden in dergelijke battery packs wijken af in met name brandverloop en brandduur. Daarnaast wijkt de samenstelling van de zeer giftige en bijtende stoffen die vrijkomen bij een brand in een elektrisch aangedreven voertuig af ten opzichte van die van een conventioneel voertuig. Deze risico's, alsmede de hoge voltages bij elektrisch aangedreven voertuigen (tot circa 400 V, met uitschieters tot 800 V), dragen eraan bij dat brandbestrijding, zeker in parkeergarages, mogelijk beperkt of helemaal niet kan plaatsvinden.

Intermezzo: brandveiligheid parkeergarages en voertuigontwikkelingen

Ook los van de elektrische voertuigen zijn er al brandveiligheidsdilemma's bij parkeergarages. Gezien de ervaringen bij enkele grote branden in parkeergarages de afgelopen jaren, blijken de standaard ontwerpuitgangspunten steeds vaker achter te lopen op de realiteit van de branden. Voorbeelden van dergelijke branden op grotere schaal zijn Parijs⁵, Liverpool⁶ en Stavanger.⁷ Op kleinere schaal kunnen worden genoemd branden in Den Haag⁸ en Twente.⁹

De brandveiligheidsmaatregelen voor de huidige parkeergarages waar brand heeft plaatsgevonden, zijn veelal ontworpen op basis van uitgangspunten die zijn gebaseerd op oudere voertuigen, met een geringe hoeveelheid kunststof en rijdend op fossiele brandstoffen zoals benzine en diesel. Ook de Nederlandse bouwregelgeving, normen en richtlijnen zijn nog altijd gebaseerd op kenmerken van branden met deze voertuigen. Moderne voertuigen hebben, mede door het gebruik van veel kunststoffen, een hogere vuurlast en brandvermogen dan de oudere stalen modellen.¹⁰ Parkeergarages zijn relatief grote ruimtes met een beperkte hoogte, waarbij brand in moderne voertuigen resulteert in zeer hoge temperaturen en dichte zwarte rook. Door de hitte, het verlies van zicht, de grote inzetdieptes en de moeilijke oriëntatie in parkeergarages is verkenning en bestrijding door de brandweer een lastige en riskante taak.

Met de toegenomen branduitbreidingssnelheid en het toegenomen brandvermogen van moderne auto's is zowel in gesloten als in open parkeergarages en zelfs op open parkeerterreinen, de kans toegenomen dat een autobrand zich ontwikkelt tot een langdurige, intense brand waarbij uiteindelijk een groot aantal voertuigen betrokken raakt (10 tot 50 of meer). Die kans lijkt groter dan ook de meest recente statistische studies laten zien en is te groot om in ontwerpvoorschriften te negeren (DGMR, 2015).

Het voorgaande betreft voornamelijk een beschouwing van de mogelijke effecten van een eventueel optredende brand. De kans op dergelijke branden is echter nog ongewis. Betrouwbare datasets over het ontstaan van en de kans op branden in elektrisch aangedreven voertuigen ontbreken. Ditzelfde geldt voor het laden en het laadproces, maar daar wordt in beide gevallen aan gewerkt door onderzoeksinstituten. Bovendien gaat het hier om een relatief nieuwe technologie die nog volop in ontwikkeling is. Onbekend is bijvoorbeeld nog in hoeverre productiefouten in battery packs en veroudering daarvan in de toekomst een rol spelen bij de kans op brand.

⁵ <https://www.autogespot.nl/brand-in-parkeergarage-place-vendome-in-parijs/>

⁶ <https://www.bafsa.org.uk/wp-content/uploads/bsk-pdf-manager/2018/12/Merseyside-FRS-Car-Park-Report.pdf>.

⁷ <https://www.thelocal.no/20200108/norway-airport-flights-held-as-hundreds-of-cars-burn-in-fire>.

⁸ <https://www.omroepwest.nl/nieuws/3981194/Bewoner-na-brand-Wateringse-Veld-Het-leek-wel-oorloghet-ging-heel-snel>.

⁹ <https://www.brandweer.nl/brandweernederland/nieuws/cases/brand-in-parkeergarage>.

¹⁰ <https://www.nfpa.org/News-and-Research/Publications-and-media/NFPA-Journal/2019/March-April-2019/Features/Protecting-Parking-Garages>.

Wel kan worden opgemerkt dat er met het laden van elektrisch aangedreven voertuigen in parkeergarages een wezenlijk nieuwe activiteit wordt toegevoegd aan de bestaande activiteit 'parkeren' en als zodanig een aanvullend risico vormt. Bekend is dat bij nieuwe ontwikkelingen in eerste instantie door 'kinderziektes' incidenten ontstaan die gaandeweg verdwijnen door verbeterde ontwerpen (Sun et al., 2020). Vandaar dat ook het laden van elektrische voertuigen in parkeergarages een activiteit is waar iets mis mee kan gaan.

Laadvoorzieningen

Voor laadvoorzieningen wordt onderscheid gemaakt in 'regulier laden' en 'snelladen' (RVO, 2019).

Laadpunt voor regulier laden

- > Een laadpunt met een vermogen van hoogstens 22kW, waarmee elektrische energie kan worden overgebracht op een elektrisch voertuig.

Laadpunt voor snelladen

- > Snelladen is het overbrengen van elektrische energie op een elektrisch voertuig met een vermogen groter dan 22 kW. Het snelladen is volop in ontwikkeling en tegenwoordig zijn er snelladers die een vermogen kunnen leveren van 175 kW en meer (sommige leveren zelfs 350 kW en voor bussen en vrachtwagens zijn er al laders met een vermogen van 600kW).

Het aantal branden in parkeergarages in het algemeen is weliswaar niet excessief hoog en de kans erop niet groot, maar de vraag is vooral in hoeverre de effecten van een dergelijke brand maatschappelijk acceptabel zijn. Ook als de kans op brand niet groter zou zijn, is het nog steeds belangrijk om het effect daarvan te beschouwen en de maatregelen daarop af te stemmen.

Dit werd ook duidelijk uit de brand in de Singelgarage te Alkmaar (1 juli 2020).¹¹ Bij deze – hoogstwaarschijnlijk aangestoken – brand was ook één elektrisch aangedreven voertuigen betrokken. De brandweer had grote moeite om de brand te blussen, omdat het zicht zeer slecht was, waardoor de locatie van de brandende voertuigen lastig te bepalen was (een blusrobot van de brandweer is ingezet). De berging (het wegtakelen) van het elektrische voertuig vond plaats met een robot van de politie, omdat de battery pack van deze auto bleef herontsteken. Eenmaal uit de garage is de elektrische auto in een dospelcontainer geplaatst zodat de battery pack langdurig gekoeld kon worden. Het brandverloop en de brandbestrijding zijn door het IFV in samenwerking met de Veiligheidsregio Noord-Holland Noord onderzocht¹².

De brandveiligheid van sommige bestaande parkeergarages is een punt van zorg vanwege de toenemende risico's en de gesignaleerde onzekerheid over de bescherming van draag- en scheidingsconstructies die alleen voldoen aan de Bouwbesluitvoorschriften. Uit het ontbreken van incidenten met dodelijke afloop of extreme materiële schade valt te beargumenteren dat er geen gegronde reden is om te besluiten dat bestaande parkeergarages zo onveilig zijn dat zij massaal moeten worden aangepast. Het idee dat bestaande parkeergarages veilig zijn, berust echter voor een belangrijk deel op veronderstellingen over brandgedrag van auto's die indertijd correct waren, maar inmiddels aantoonbaar achterhaald zijn. De veiligheid van die garages en vooral die van daarboven gelegen functies is als gevolg van een ander brandverloop en een groter brandvermogen bij branden van auto's gedaald (DGMR, 2015).

¹¹ https://www.noordhollandsdagblad.nl/cnt/dmf20200701_16898382/grote-brand-singelgarage-in-alkmaar-brandweer-kan-niet-naar-min-twee-waar-het-te-heet-is-auto-s-op-die-verdieping-afgeschreven-bevestigt-woordvoerder?utm_source=dlvr.it&utm_medium=twitter.

¹² <https://www.ifv.nl/nieuws/Paginas/Onderzoeksrapport-Singelgarage-Alkmaar.aspx>

Doel en vraagstelling

Er is een aantal keren Kamervragen gesteld over de veiligheid van parkeergarages in relatie tot onder meer elektrische voertuigen:

- > aan de minister van Justitie en Veiligheid (6 september 2019 door Thierry Baudet, FvD)¹³
- > aan de minister van Milieu en Wonen (13 januari 2020 door Remco Dijkstra, VVD)¹⁴
- > aan de minister van Binnenlandse zaken en Koninkrijksrelaties (24 maart 2020 door Sandra Beckerman en Cem Laçin, beiden SP).¹⁵

Strekking van het eerste en tweede antwoord op de vragen van Baudet en Dijkstra is dat elektrisch aangedreven voertuigen minstens zo veilig zijn als voertuigen met verbrandingsmotoren en conventionele accu's, maar dat het blussen anders is. Verder geeft de minister aan het van belang te vinden dat in een nog te ontwikkelen NEN-norm voor de integrale brandveiligheid van parkeergarages naast de specifieke risico's ten aanzien van het laden en parkeren van elektrische voertuigen, ook de mogelijke beheersbaarheid van incidenten en inzetmogelijkheden van hulpdiensten worden beschouwd. De minister heeft er eerst voor gekozen om het aanleggen van laadvoorzieningen in (nieuwe) parkeergarages wettelijk te verplichten en gaat daarna over tot het ontwikkelen van een NEN-norm voor de integrale brandveiligheid van parkeergarages waarin de specifieke risico's ten aanzien van het laden en parkeren van elektrische voertuigen zal worden beschouwd. In de meest recente beantwoording op de vragen van de SP-Kamerleden wordt door de minister verwezen naar voorliggende publicatie van het IFV. Vooruitlopend op een nieuwe NEN-norm voor de integrale brandveiligheid van parkeergarages wordt hier ingegaan op specifieke risico's, de beheersbaarheid van incidenten en inzetmogelijkheden van hulpdiensten bij parkeergarages met elektrisch aangedreven voertuigen.

Hierboven in de 'Aanleiding' zijn diverse specifieke veiligheidsrisico's van elektrische voertuigen en het laden kort benoemd. Parkeergarages zelf hebben ook invloed op de aard en omvang van deze risico's. Derhalve beschouwen we de additionele risico's van elektrische voertuigen en het laden in samenhang met parkeergarages. Alles overziend is de vraag die in deze publicatie centraal zal staan de volgende:

Hoe moet vanuit brandpreventief (risicobeheersing) en repressief (incidentenbestrijding) oogpunt worden omgegaan met de brandveiligheid van parkeergarages waarin elektrisch aangedreven voertuigen worden geparkeerd en geladen?

Deze publicatie biedt hiervoor handvatten.

¹³ <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/kamerstukken/2019/12/02/antwoorden-kamervragen-over-het-brandveiligheidsrisico-elektrische-auto-s>.

¹⁴ <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/kamerstukken/2020/01/31/beantwoording-kamervragen-over-het-bericht-fire-at-norway-airport-destroys-hundreds-of-cars-grounds-planes>.

¹⁵ <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/kamerstukken/2020/03/24/beantwoording-vragen-over-brandgevaar-in-parkeergarages-en-onder-woningen>.

Wet- en regelgeving

Als basis voor de behandeling van de brandpreventieve voorschriften gaan we uit van de voorschriften uit het Bouwbesluit 2012, die betrekking hebben op bestaande en nieuw te realiseren bouwwerken.¹⁶ Ook geeft het Bouwbesluit 2012 voorschriften voor verbouwingen en voor tijdelijke bouwwerken. Een parkeergarage behoort in het Bouwbesluit 2012 tot een 'overige gebruiksfunctie voor het stallen van motorvoertuigen' (artikel 1.1, tweede lid). Naast het Bouwbesluit bestaat er nog andere regelgeving en richtlijnen, zoals bijvoorbeeld de PGS-reeks, die is bedoeld voor het bedrijfsmatig stallen van voertuigen.¹⁷ Dit valt echter buiten de scope van deze publicatie.

Prestatie-eisen voor nieuwbouw en bestaande bouw

Het Bouwbesluit 2012 geeft prestatie-eisen voor bestaande en voor (nieuw) te bouwen bouwwerken. Voor bestaande parkeergarages gelden minder strenge voorschriften dan voor nieuwbouw. Zo mag een brandcompartiment in een nieuw te bouwen parkeergarage een gebruiksoppervlakte van maximaal 1.000 m² hebben, terwijl voor bestaande bouw een grenswaarde geldt van maximaal 3.000 m².

Intermezzo: verbouwingen en brandveiligheid

Zodra een bouwwerk is opgeleverd en in gebruik is genomen, is het voor de toepassing van de bouwregelgeving een bestaand bouwwerk waarop de voorschriften van toepassing zijn die in het Bouwbesluit 2012 zijn opgenomen over de staat van bestaande bouwwerken. Dat betekent echter niet dat de eigenaar het kwaliteitsniveau van dat bouwwerk na de oplevering door ingrepen mag gaan verlagen, bijvoorbeeld tot het niveau dat in de voorschriften voor bestaande bouwwerken als minimumniveau is opgenomen. Het door ingrepen veranderen van de kwaliteit is namelijk "bouwen" in de zin van de Woningwet, hetgeen betekent dat die ingrepen aan het verbouwniveau van Bouwbesluit 2012 moeten voldoen. Behoudens enkele uitzonderingen is dat het zogenaamde 'rechtens verkregen niveau' als bedoeld in artikel 1.1, eerste lid van het Bouwbesluit 2012, wat erop neerkomt dat het brandveiligheidsniveau als gevolg van een verbouwing niet mag verslechteren. Iets anders is dat de kwaliteit van een bouwwerk in de loop van de tijd door veroudering uiteraard kan verminderen. Een dergelijke autonome kwaliteitsvermindering wordt door de wetgever aanvaardbaar geacht, mits het kwaliteitsniveau van het bouwwerk het minimumniveau van de voorschriften voor bestaande bouw niet onderschrijdt. Wanneer dat minimumniveau wel wordt onderschreden, is de eigenaar van het bouwwerk in overtreding en kan het bevoegd gezag handhavend optreden (VROM, 2008).

Laadvoorzieningen voor elektrisch aangedreven voertuigen maken onderdeel uit van de elektrische voorziening van een gebouw. Op basis van artikel 6.7 van het Bouwbesluit moet een bouwwerk met een voorziening voor het afnemen en gebruiken van energie hiervoor een *veilige* voorziening hebben. In artikel 6.8 (voorziening voor elektriciteit) van het Bouwbesluit wordt aangegeven dat een elektrische voorziening moet voldoen aan de norm NEN 1010. In deze NEN-norm zijn eisen opgenomen voor de veilige installatie van laadpalen.

¹⁶ Naar verwachting worden de voorschriften van Bouwbesluit 2012 per 1 juli 2022 met de inwerkingtreding van de Omgevingswet opgenomen in het 'Besluit bouwwerken leefomgeving' (Bbl).

¹⁷ PGS staat voor: 'Publicatiereeks Gevaarlijke Stoffen'.

Bovendien gelden voor de afzonderlijke elementen van de laadvoorzieningen weer separate veiligheidseisen. Voor meer informatie over veiligheidseisen betreffende voertuigen en laadinfrastructuur verwijzen we naar de serie internationale 'guidelines' van de International Electrotechnical Commission (IEC)¹⁸. In bijlage 1 van deze publicatie geven we een overzicht van eisen en normen die aan laadvoorzieningen en elektrisch aangedreven voertuigen worden gesteld (IFV, 2020b).

Gelijkwaardigheid

Ook is er de mogelijkheid om voorzieningen te treffen die op gelijkwaardigheid berusten: een andere voorziening die niet rechtstreeks aan de prestatie-eisen van het Bouwbesluit 2012 voldoet, maar waarmee wel een mate van (brand)veiligheid wordt gerealiseerd als is beoogd met de voorschriften van Bouwbesluit 2012 (Berghuis, 2019).

Het gelijkwaardigheidsartikel is opgenomen in artikel 1.3 van het Bouwbesluit 2012 en luidt als volgt:

“Aan een in hoofdstuk 2 tot en met 7 gesteld voorschrift behoeft niet te worden voldaan indien het bouwwerk of het gebruik daarvan anders dan door toepassing van het desbetreffende voorschrift ten minste dezelfde mate van veiligheid, bescherming van de gezondheid, bruikbaarheid, energiezuinigheid en bescherming van het milieu biedt als is beoogd met de in die hoofdstukken gestelde voorschriften.”

Om te beoordelen of sprake is van een gelijkwaardige oplossing, kan worden teruggevallen op de overheidsdoelstellingen die ten grondslag liggen aan de brandveiligheidsvoorschriften (Berghuis, 2019):

- > het voorkomen van slachtoffers
- > het voorkomen van branduitbreiding naar een ander perceel.¹⁹

De repressieve inzet van de brandweer is in beginsel geen onderdeel waarmee bij een gelijkwaardige oplossing rekening mag worden gehouden.

De (minimum) voorschriften uit het Bouwbesluit 2012 zijn rechtstreeks werkend en gelden voor elk bouwwerk (Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties, 2012). Uiteraard kan de initiatiefnemer, eigenaar of beheerder van een parkeergarage ook een hoger ambitieniveau kiezen dan de minimumvoorschriften van Bouwbesluit 2012, zoals beperking van schade aan zijn bezit, een monument of het milieu. Deze doelen maken echter geen onderdeel uit van de brandveiligheidsvoorschriften uit het Bouwbesluit 2012.

Bij een gelijkwaardige oplossing in een parkeergarage zal het risico van slachtoffers of branduitbreiding naar een ander perceel ten minste gelijk aan of lager moeten zijn dan in de situatie waarbij de parkeergarage rechtstreeks aan de prestatie-eisen van het Bouwbesluit 2012 voldoet. Methoden die daarbij zijn of worden gebruikt zijn bijvoorbeeld de LNB²⁰-Richtlijn (sinds 2012 ingetrokken door de toenmalige Raad van Commandanten (RvC)), NEN 6098 en de richtlijn 'Brandveiligheid stalen parkeergarages' van Bouwen met Staal.

¹⁸ http://e-mobility.provincia.brescia.it/wp-content/uploads/2017/10/d.t1.1.1-e-moticon_charging-infra-analysis-_final-version.pdf.

¹⁹ Dat betreft dus niet een boven de parkeergarage gelegen andere gebruiksfunctie, ook niet als die van een andere eigenaar is. Overigens wordt de beperking van uitbreiding van brand tussen een parkeergarage en een daarboven gelegen woonfunctie op hetzelfde perceel in Bouwbesluit 2012 geborgd door de voorschriften inzake brandcompartimentering en weerstand tegen branddoorslag en brandoverslag.

²⁰ LNB staat voor: 'Landelijk Netwerk Brandpreventie'.

Voor bestaande parkeergarages kan hierbij ook de in het verleden verleende bouwvergunning worden betrokken (Huijzer, 2013). Bovendien moet een gelijkwaardige oplossing volgens artikel 1.3, tweede lid, van het Bouwbesluit 2012 in stand worden gehouden. Wanneer het gebruik van de parkeergarage afwijkt van de uitgangspunten die ten grondslag hebben gelegen aan de oorspronkelijke gelijkwaardige oplossing, ontstaat er strijdigheid met artikel 1.3, tweede lid van het Bouwbesluit 2012.

Gelijkwaardigheid wordt in de praktijk meestal onderbouwd in een notitie of rapportage, zodat de beschouwing van de risico's en afwegingen waarom in een specifieke situatie sprake is van gelijkwaardigheid vastliggen. Veelal is het voor het realiseren van een gelijkwaardige oplossing nodig om (bouwkundige of installatietechnische) voorzieningen te treffen. Ook deze voorzieningen kunnen worden vastgelegd in een dergelijke notitie of rapportage. Deze kan bovendien worden gebruikt als inhoudelijke reactie op een handhavingsbesluit of als indieningsstuk voor een omgevingsvergunning voor het bouwen, voor zover een dergelijke vergunning nodig is.

Schade en overlast voor de omgeving en bedrijfszekerheid

De technische voorschriften van het Bouwbesluit 2012 hebben als doel de kans op slachtoffers te beperken en evenals de kans op branduitbreiding naar een ander perceel. Naast deze (publiekrechtelijke) doelstellingen is het van belang om bij parkeergarages rekening te houden met de volgende vragen:

1. Welke mate van overlast wordt acceptabel gevonden voor de omgeving?

Welke mate van overlast (bijvoorbeeld rookverspreiding of verspreiding toxische stoffen) acceptabel gevonden wordt voor de omgeving, kunnen gemeenten regelen in bijvoorbeeld een bestemmingsplan ('omgevingsplan' onder de toekomstige Omgevingswet). Tot nu toe wordt van die mogelijkheid nog nauwelijks gebruik gemaakt door het bevoegd gezag, maar toekomstige omgevingsplannen zijn een geschikt instrument voor het beperken van overlast voor de omgeving (Van der Graaf en Pothuis, 2018). Dit is zeker van belang gezien het feit dat een brand maatschappelijke impact kan hebben. Denk bijvoorbeeld aan impact op een ziekenhuis in de buurt, mogelijke uitval van vitale infrastructuur, zoals elektriciteit, of het moeten afsluiten van (snel)wegen als gevolg van rookoverlast.

2. Welke schade wordt acceptabel gevonden (bijvoorbeeld aan de constructie)?

Het beperken van schade wordt niet geregeld in het Bouwbesluit 2012. Privaatrechtelijk kunnen daarover wel afspraken worden gemaakt tussen betrokken partijen onderling, zoals bijvoorbeeld tussen een initiatiefnemer en een verzekeraar.

Hierbij kan ook worden gedacht aan schade aan de constructie als gevolg van een langdurige brand, waarbij bijvoorbeeld een bovenliggend bouwwerk zoals een woongebouw ontruimd moet worden en voor de bewoners gedurende langere tijd voor vervangende woonruimte moet worden gezorgd.

3. Welke continuïteit en bedrijfszekerheid van activiteiten in de omgeving moeten worden geborgd?

De vraag welke continuïteit of bedrijfszekerheid van activiteiten in de omgeving moet worden geborgd, is grotendeels een zaak tussen partijen onderling. Denk bijvoorbeeld ook aan bedrijven die afhankelijk zijn van bijvoorbeeld de toevoer van schone lucht voor hun bedrijfsprocessen. Wanneer rook, die afkomstig is uit een brand in een parkeergarage, naar binnen wordt gezogen, bestaat het risico dat het bedrijfsproces stil komt te liggen. Andere voorbeelden zijn bedrijven die door lange afsluitingen ten behoeve van de incidentbestrijding hun producten niet aan- of afgevoerd krijgen, waardoor hun bedrijfsproces stil kan komen te liggen. Voor dergelijke bedrijven is het van belang om hierover in gesprek te gaan en (privaatrechtelijk) afspraken te maken met de beheerder/eigenaar van de parkeergarage.

Handelingsperspectief bevoegd gezag

De Nederlandse bouwregelgeving (Bouwbesluit 2012) is vanuit brandveiligheidsoogpunt niet toegesneden op het parkeren en laden van elektrisch aangedreven voertuigen in parkeergarages. Ook in het geval een gelijkwaardige oplossing wordt toegepast voor parkeergarages die afwijken van de prestatie-eisen van het Bouwbesluit 2012 (> 1.000 m² voor nieuwbouw en > 3.000 m² voor bestaande bouw), zijn er nog geen bepalingsmethoden beschikbaar waarin rekening wordt gehouden met het parkeren en laden van elektrisch aangedreven voertuigen in parkeergarages.

Wijzigingen van het gebruik van de parkeergarage ten opzichte van de oorspronkelijke bouw- of omgevingsvergunning die de brandveiligheid van een parkeergarage negatief beïnvloeden, kunnen voor het bevoegd gezag aanleiding zijn om in gesprek te gaan met de eigenaar om de brandveiligheid van de parkeergarage te verbeteren. Volgens artikel 1.3, tweede lid van het Bouwbesluit 2012 moet een gelijkwaardige oplossing bij het gebruik van een bouwwerk in stand worden gehouden. Verandering van gebruik kan er zelfs toe leiden dat er strijdigheid met het niveau bestaande bouw ontstaat (in het geval er in een bestaande parkeergarage sprake is van een gelijkwaardige oplossing), wat verboden is volgens artikel 1b lid 2 van de Woningwet. In het uiterste geval kan het bevoegd gezag toepassing geven aan artikel 13 van de Woningwet.

Toepassing van artikel 13 van de Woningwet is alleen mogelijk als het bevoegd gezag kan motiveren dat er in de desbetreffende specifieke situatie naar zijn oordeel sprake is van een onveilige situatie. Daarbij kunnen (indien van toepassing voor de desbetreffende parkeergarage) de volgende gebruikswijzigingen ten opzichte van een in het verleden verleende bouw- of omgevingsvergunning voor het bouwen mede als grondslag voor de motivering worden gebruikt:

- > het parkeren en laden van elektrische voertuigen in een parkeergarage brengt ten opzichte van auto's op benzine of diesel andere risico's met zich mee dan die waarmee tijdens de verlening van de bouw- of omgevingsvergunning rekening is gehouden.
- > met de toegenomen brandgroeisnelheid en vuurlast van moderne auto's is zowel in gesloten als in open parkeergarages de kans toegenomen dat een autobrand zich ontwikkelt tot een langdurige, intense brand waarbij uiteindelijk een groot aantal voertuigen betrokken raakt (10 tot 50 of meer (DGMR, 2015)).

De motivering zal overigens doorgaans niet beperkt kunnen worden tot het gegeven dat er in een parkeergarage elektrisch aangedreven voertuigen worden geparkeerd en/of geladen, zeker niet in het licht van de verplichting die in het Bouwbesluit 2012 is opgenomen voor het aanbrengen van laadvoorzieningen in nieuwe parkeergarages en in de toekomstige verplichting hiertoe voor bestaande parkeergarages. Artikel 13 van de Woningwet moet bovendien in samenhang met het hele gebouw worden toegepast: bij een parkeergarage waarop bijvoorbeeld een woongebouw met senioren of een ziekenhuis staat, ligt toepassing van artikel 13 van de Woningwet eerder voor de hand dan bij een vrijstaande parkeergarage die op een grotere afstand van bebouwing staat.

Bovengenoemd wetgevingsinstrumentarium is in de praktijk toereikend om de veiligheid in parkeergarages in voldoende mate mee te kunnen borgen. Daarnaast kunnen nog artikel 7.10 van Bouwbesluit 2012 (restrisicobepaling/'kapstokartikel') en artikel 1a van de Woningwet (algemene zorgplichtbepaling) worden genoemd. Deze artikelen voorzien in een verplichting tot het treffen van voorzieningen als zich een omstandigheid voordoet waarbij sprake is van een onveilig of ongezond bouwwerk, open erf of terrein, ondanks het feit dat aan de voorschriften van Bouwbesluit 2012 is voldaan en er evenmin een strijdigheid is met andere regelgeving (Berghuis, 2019). In de praktijk zal het dan gaan om een acuut onveilige situatie.

Uitrol infrastructuur alternatieve brandstoffen

Naast de bouwregelgeving zijn er ook Europese richtlijnen en Nederlandse voorschriften die zich richten op de infrastructuur van alternatieve brandstoffen. De Europese Commissie heeft in 2013 uitgesproken dat elektriciteit, waterstof, biobrandstoffen, aardgas en vloeibaar petroleumgas (LPG) aangemerkt worden als de belangrijkste alternatieve brandstoffen die op lange termijn olie kunnen vervangen. Dit is vervolgens in 2014 vastgelegd in richtlijn 2014/94/EU van het Europees Parlement en de Raad²¹, met als doel een gemeenschappelijk Europees kader vaststellen om de olieafhankelijkheid van vervoersmiddelen te verminderen.

De implementatie van deze Europese richtlijn in Nederlandse wetgeving vindt plaats in het Besluit infrastructuur alternatieve brandstoffen²² daterende uit 2017. De hieruit volgende gebruikseisen zijn vervolgens vastgelegd in de Regeling technische eisen en gebruikersinformatie over de infrastructuur van alternatieve brandstoffen²³. Deze regeling stelt in artikel 2 en 3 technische specificaties aan normaal en hoog vermogen publiek toegankelijke laadpunten. De voornaamste gestelde eis is dat laadpunten beschikken over connectoren zoals beschreven in EN62196. Voor verdere veiligheidseisen aan laadpunten verwijzen wij door naar bijlage 1 van deze publicatie.

Te verwachten toekomstige regelgeving

Naar verwachting wordt per 1 juli 2022 de Omgevingswet van kracht. Onder de Omgevingswet valt het 'Besluit bouwwerken leefomgeving (Bbl)', een Algemene Maatregel van Bestuur (AMvB) waarin de voorschriften van het Bouwbesluit 2012 grotendeels worden overgenomen. Op 10 juni 2021 is er door het Ministerie van BZK een consultatie gestart van een aantal voorgenomen wijzigingen van het concept Bbl²⁴. Dit betreft de volgende voorgenomen wijzigingen:

²¹ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/NL/TXT/HTML/?uri=CELEX:32014L0094&from=NL>

²² <https://wetten.overheid.nl/BWBR0039567/2017-06-24/>

²³ <https://wetten.overheid.nl/BWBR0039677/2018-10-12>

²⁴ <https://www.internetconsultatie.nl/verzamelwijzigingbbl2021>

- de verplichting van een sprinklerinstallatie in bepaalde typen parkeergarages
- een voorziening waarmee oplaadpunten van elektrische voertuigen tegelijkertijd kunnen worden uitgeschakeld en een verplichting om bij de toegang van de parkeergarage kenbaar hoe deze voorziening is uitgevoerd
- een verplichting om bij de toegang van de parkeergarage kenbaar te maken waar de oplaadpunten van elektrische voertuigen zich bevinden

Afbakening

Het voorliggende document behandelt zowel het parkeren als het laden ('normaal laden' en 'snelladen') van elektrisch aangedreven voertuigen. Daarbij beperkt het zich tot de problematiek van lithium-ion aangedreven personenauto's, zowel de 'full electric vehicles' (FEV: Full Electric Vehicle of BEV: Battery Electric Vehicle) als de 'plugin hybrid electric vehicles' (PHEV). Daarbij merken we op dat 'lithium-ion' een verzamelnaam is voor allerlei lithium batterijen, waarvan de specifieke kenmerken en reacties bij brand kunnen verschillen (zoals bijvoorbeeld de temperatuur waarbij een 'thermal runaway' kan ontstaan (in de range van 50 tot 270 °C)). Hier wordt op deze verschillen verder niet ingegaan, omdat zij volgens de huidige inzichten niet leiden tot afwijkende maatregelen (hoofdstuk 3) of andere brandbestrijdingstactieken (hoofdstuk 4).

Dit document focust zich niet op andersoortige batterijen (zoals nikkel-metaal hydride batterijen: deze vormen geen specifiek probleem) en niet op andere brandstoffen (zoals waterstof) aangezien deze op dit moment (nog) relatief weinig gebruikt worden. Overigens kunnen de risico's voor de incidentbestrijding van auto's op andere brandstoffen (zoals waterstof) net zo complex zijn als voor elektrisch aangedreven voertuigen. Specifieke risico's voor waterstof voertuigen zijn beschreven in het rapport *Waterstofauto's in parkeergarages – Deel 1* (Instituut Fysieke Veiligheid, 2021a). Dergelijke brandstoffen vallen echter buiten het bestek van deze publicatie.

Ook gaan we niet in op andere veiligheidsaspecten van elektrisch aangedreven voertuigen, zoals de verkeersveiligheid, die negatief beïnvloed wordt door de toename van de aantallen zwaargewonden vanwege sneller optrekken, grotere massa en stillere beweging.²⁵ Moedwillige oorzaken van incidenten zoals illegaal aftappen van elektriciteit en brandstichting komen evenmin aan bod. Omdat deze publicatie zich beperkt tot parkeergarages, heeft zij geen betrekking op parkeren buiten gebouwen, zoals op straat of op open parkeerplaatsen.

In deze publicatie gaan we uit van de vigerende wet- en regelgeving. Na de inwerkingtreding van de Omgevingswet en de daardoor aangestuurde algemene maatregelen van bestuur (AMvB's) wordt zij daar waar nodig geactualiseerd. Tot slot richt deze publicatie zich op de huidige situatie waarin sprake is van een (nog) relatief beperkt aandeel elektrisch aangedreven voertuigen in het verkeersbeeld. Wij voorzien echter dat, wanneer dit aandeel substantieel toeneemt (en dat is meer dan slechts een verwachting), deze publicatie geactualiseerd moeten worden vanwege de mogelijke consequenties van die toename voor de genoemde maatregelen.

²⁵ <https://www.rijkschoolpro.nl/rijkschool/2020/06/19/meer-zwaargewonden-door-elektrische-auto/?gdpr=accept>.

1 Fysische karakteristieken

In dit hoofdstuk beschrijven we de fysische karakteristieken (meetbare eigenschappen) waarvan sprake is bij een brand in een elektrisch aangedreven personenvoertuig. Deze wijken af van branden in conventionele voertuigen. Met dit hoofdstuk geven we inzicht in de verschillen tussen incidenten (met name branden) met elektrisch aangedreven voertuigen en met conventionele (fossiele brandstof-aangedreven) voertuigen.

1.1 Onderzoek naar elektrisch aangedreven voertuigen

Het inzicht in en verschil tussen de fysische karakteristieken van elektrische en conventionele voertuigen geeft inzicht in welke veiligheidsmaatregelen zinvol zijn. Veiligheid wordt veelal uitgedrukt in risico, dat vaak meetbaar gemaakt wordt als een kans op en een gevolg van een incident. Opgemerkt moet echter worden, dat de kanscomponent van het risicobegrip van elektrische voertuigen en het laden anno 2021 amper te bepalen is op basis van empirische gegevens (RISE 2019c, Sun et al., 2020). Want hoewel elektrische voertuigen steeds meer een onderdeel worden van het Nederlandse straatbeeld, zijn zowel hun aantal als de periode waarin zij in Nederland rondrijden nog zo gering, dat over de *kans* op incidenten nog geen betrouwbare uitspraak kan worden gedaan. Mede om hierin inzicht te verkrijgen bouwen het IFV en Brandweer Nederland een landelijke database op²⁶.

Over de *gevolgen* van incidenten met elektrische voertuigen valt meer te melden, en met een grotere betrouwbaarheid, vanwege verschillende studies en experimenten die op dit terrein zijn uitgevoerd. En juist die gevolgen zijn relevant voor de hulpdiensten, specifiek de brandweer, enerzijds in het kader van brandpreventieve advisering, anderzijds vanwege de incidentbestrijding.

Er zijn in de afgelopen jaren tientallen onderzoeken uitgevoerd naar het brandgevaar van met name batterijen en battery packs die in elektrisch aangedreven voertuigen worden gebruikt. Daadwerkelijk full-scale experimenteel onderzoek naar brand in elektrische voertuigen is er daarentegen een stuk minder. Bedacht moet worden dat elk onderzoek zijn eigen specifieke uitgangspunten en onderzoeksgebied heeft. De afzonderlijke onderzoeken moeten dan ook met zorg worden beschouwd, mede in relatie tot de gekozen uitgangspunten. Dit leert ons dat we de testresultaten van individuele onderzoeken niet zomaar kunnen vertalen naar generieke conclusies over fysische verschillen tussen elektrisch aangedreven voertuigen en conventioneel aangedreven voertuigen. Testresultaten kunnen namelijk sterk variëren, afhankelijk van de hoeveelheid brandstof in de brandstoftank, de capaciteit van de battery pack en de hoeveelheid kunststoffen die in de auto's is toegepast.

Het wetenschappelijk kennisinstituut RISE uit Zweden heeft de afgelopen jaren diverse onderzoeken (zowel literatuurstudies als experimenten) uitgevoerd naar veiligheidsaspecten van elektrische voertuigen (RISE, 2018, 2019a, 2019b, 2019c en 2020). Sun et al. hebben in

²⁶ <https://www.ifv.nl/nieuws/Paginas/Landelijke-database-voor-incidenten-met-alternatief-aangedreven-voertuigen.aspx>

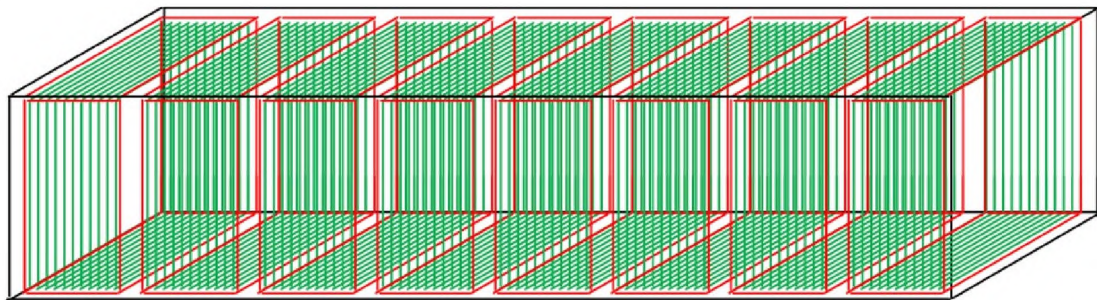
het begin van 2020 een omvattende literatuurstudie gepubliceerd over batterijbranden in elektrisch aangedreven voertuigen, waarin een groot deel van eerdere studies en experimenten zijn gebundeld en bestudeerd (Sun et al., 2020). Het is deze meest omvattende, actuele en peer-reviewed studie die aan de basis staat van onze analyse in dit hoofdstuk van de verschillen tussen elektrische en conventionele voertuigen.

1.2 De energievoorziening van elektrische voertuigen

In deze paragraaf wordt kort ingegaan op de energievoorziening van elektrische auto's.

1.2.1 Battery packs

Oplaadbare battery packs in elektrische voertuigen, zoals lithium-ion battery packs, slaan (grote) hoeveelheden energie op (>100 kWh) die wordt gebruikt voor het aandrijven van de elektromotoren waarmee het voertuig zich kan verplaatsen. De battery packs zijn opgebouwd uit (batterij)cellen (die circa 4 volt kunnen leveren) die voor de energie-inhoud zorgen. Door deze met elkaar te verbinden, ontstaan modules (tot 60 volt). Het aantal en de aard van de cellen verschilt per module. Verbonden modules vormen batterijpakketten (van 300-1000 volt). Batterijpakketten vinden we terug in personenvoertuigen met tegenwoordig energieopslagcapaciteiten van 100 kWh en meer.²⁷



Pack 300 V – 1000 V Module < 60 V Cell ~ 4 V
Figuur 1.1 Opbouw battery pack (Bisschop, Willstrand & Rosengren (2020))

1.2.2 Opladen

Naast parkeren kunnen geparkeerde elektrische voertuigen ook opgeladen worden in parkeergarages. Net als de productie van batterijen, bevindt ook de laadtechnologie zich nog volop in ontwikkeling. Zo zijn er verschillende modi waarop het laden van elektrische apparaten kan plaatsvinden:

- > Mode 1: het elektrisch aangedreven voertuig wordt verbonden via een kabel met een normale (huishoudelijke) wandcontactdoos. Deze mode wordt niet gebruikt voor personenvoertuigen omdat aan de zijde van het voertuig uitsluitend een speciale stekker (Type 1 of Type 2) noodzakelijk is voor de communicatie met het BMS (battery management system). Bij deze laadmethode ontbreekt communicatie en daarmee een systeem ten behoeve van de veiligheid.

²⁷ Wanneer batterijpakketten met elkaar verbonden worden, ontstaan batterijsystemen (voor bijvoorbeeld trucks, elektrische schepen) met een range van 10 tot 400kWh opslag. Ondertussen zijn er ook geluiden dat de energie-inhoud van de battery pack van elektrische personenvoertuigen weer gaat afnemen door verbeterde batterijtechnologie en laadsnelheden.

- > Mode 2: het elektrisch aangedreven voertuig wordt verbonden via een speciale kabel met een normale (huishoudelijke) wandcontactdoos. De kabel bevat speciale laadfunctionaliteiten zoals monitoring van enkele laadonderdelen en circuitonderbreking. De aan de kabel ingebouwde sturing/controller (ICCB: In-Cable Control Box) fungeert als mobiele veiligheidsvoorziening en regelt het laadvermogen.
- > Mode 3: het elektrisch aangedreven voertuig wordt via een afzonderlijk laadstation verbonden door middel van een speciale stekker (Mennekes-stekker) met het net. Hiermee zijn hoge laadspanningsniveaus mogelijk. De speciale stekker faciliteert communicatie tussen voertuig en laadinfrastructuur en bepaalt daarmee het juiste vermogen. Deze communicatie is een belangrijke veiligheidsvoorziening. Indien er een afwijking wordt geconstateerd, wordt de installatie spanningsloos gemaakt.
- > Mode 4: het elektrisch aangedreven voertuig is verbonden met het net via een lader in een afzonderlijk laadstation. Bij deze mode zijn de laadkabel en monitorings- en beveiligingsfuncties permanent verbonden met het laadstation, gelijk aan mode 3. Een mode 4 laadpunt bevat een AC/DC-omvormer zodat het (ont)laden van het voertuig met DC gebeurt. Bij mode 2 en 3 wordt de omvorming door een on-board charger in het voertuig gedaan. Mode 4 is door de externe omvormer geschikt voor snelladen en bidirectioneel laden. Bij mode 3 en mode 4 is sprake van dezelfde veiligheidsvoorzieningen voor / in de laadinfra.

1.3 Fysische karakteristieken

In deze paragraaf behandelen we de 'thermal runaway' en fysische karakteristieken (meetbare eigenschappen van de brand) bij incidenten met elektrisch aangedreven voertuigen. Achtereenvolgens:

- > Thermal runaway
- > Temperatuur en warmtestraling
- > Brandvermogen
- > Brandverloop
- > Verbrandingsproducten

1.3.1 Thermal runaway

Thermal runaway is een faalmechanisme dat leidt tot zelfverhitting in een batterij(cel) en kan resulteren in brand (Colella et al., 2016). Battery packs hebben allemaal hun eigen 'safety window' (veiligheidsmarge); wanneer condities hierbuiten komen, kan dit leiden tot het zichzelf opwarmen en veroorzaken van een thermal runaway (Air Resources Board, 2015). Temperaturen waarbij dit op kan treden liggen, afhankelijk van het type batterij, gemiddeld tussen circa 70 en 250 °C (Sun et al., 2020). Bij de accu van een elektrische auto is er altijd sprake van een Batterij Management Systeem (BMS) waarmee de safety window fail safe wordt bewaakt.

Wat er gebeurt bij een thermal runaway

Een gevaar is dat de gassen die vrijkomen bij opwarming brandbaar zijn en bij voldoende zuurstof en ontstekings temperatuur (de temperatuur van de celverpakking kan hiervoor hoog genoeg zijn) tot ontbranding kunnen komen. De brand van de battery pack houdt zichzelf als gevolg van de thermal runaway in stand, en blijft opnieuw ontsteken totdat er geen energie meer zit in de battery pack. Thermal runaway in een enkele batterijcel kan door opwarming een kettingreactie veroorzaken: deze cel warmt de naastgelegen cellen op, waardoor deze

vervolgens ook in een thermal runaway geraken. De gassen kunnen, wanneer ze zich in een besloten ruimte zoals een 'pouch' (zakje) of cassette bevinden, door falen van het omhulsel van de battery pack of drukventielen onder (hoge) druk vrijkomen. In de juiste mengverhouding kunnen de gassen leiden tot een fakkelbrand en/of gaswolkexplosie. Door de drukgolf kunnen, in geval van mechanische schade aan de battery pack, (brandende) onderdelen en fragmenten uit de battery pack worden weggeslingerd.

Een eenmaal in gang gezette thermal runaway in een battery pack van elektrisch aangedreven voertuig is moeilijk te stabiliseren. De verklaring daarvoor is dat de batterijcellen moeilijk te koelen zijn, omdat het koelmedium (veelal water) niet op de cellen gebracht kan worden. Dat komt, omdat de battery pack zo goed mogelijk is afgesloten van de buitenwereld om vocht- en vuilinvloeden op het functioneren van de batterij te voorkomen (IFV, 2021b). Daarom is voor koeling langdurig opbrengen van veel koelwater (of een ander middel) nodig. Er is pas weer sprake van een veilige situatie als alle elektrische- en chemische energie uit de batterij is geneutraliseerd (opgebrand).

Oorzaken van een thermal runaway

Een falende batterij kan het gevolg zijn van een ontwerp of productiefout waarbij de elektrode bij betrokken kan zijn, evenals de separator, elektrolyt of onderlinge processen die leiden tot storingen in het batterijmanagementsysteem (BMS) waardoor overlading plaatsvindt. Over het algemeen komen deze fouten weinig voor en wanneer zij ontdekt worden, worden de betreffende batterijen vaak teruggedroepen om de fout te herstellen. Het BMS zorgt er door individuele bewaking van de cellen voor dat dit risico wordt beperkt. Afwijkingen worden door het BMS gedetecteerd. Indien er grenswaarden worden overschreden, onderneemt het BMS actie. Dit kan zijn bijvoorbeeld actieve koeling tijdens het opladen, afschakelen van het oplaadproces en eventueel door het volledig ontkoppelen van de battery pack. Het BMS is fail safe opgezet, zodat storingen aan het BMS zelf eveneens aanleiding zijn voor het volledig uitschakelen van de battery pack.

Een batterij kan ook falen door externe factoren zoals verhitting van buitenaf, het verkeerd gebruiken ervan of blootstelling aan (extreme) omstandigheden zoals bijvoorbeeld een beschadiging door een botsing.

Ontwerp- en productiefouten alsmede externe factoren zijn moeilijk in een faalkans te vatten (Battery University, 2016); vandaar dat over de faalkans verschillende cijfers zijn terug te vinden. Zo wordt door Larsson et al. (2017) gesproken over een faalkans van één per miljoen of lager, terwijl op de website van MIT Technology review wordt gesproken over een faalkans van ongeveer 1 op 100 miljoen (Bullis, 2013). Al met al lijkt het falen van de batterij een relatief lage kans van voorkomen te hebben. En hoewel li-ion batterijen in de afgelopen jaren behoorlijk zijn verbeterd, wordt er in Sun et al. (2020) gewaarschuwd voor de relatief prille fase waarin de technologieontwikkeling van li-ion batterijen zich toch nog steeds bevindt, met 'de gebruikelijke kinderziekten' bij de productie van de batterijen en de laadprocessen als gevolg. Intrinsiek veilige li-ion batterijen zijn er niet,²⁸ waarmee bedoeld wordt dat de battery pack zodanig ontworpen is, dat het vrijkomen van voldoende energie voor thermal runaway wordt voorkomen. De verwachting is echter, dat batterijveiligheid steeds verder wordt verbeterd en de faalkansen verder worden teruggebracht (Battery University, 2016).

²⁸ Intrinsiek veilige batterijen zouden in dit kader de meest fundamentele verbetering zijn van de brandveiligheid van elektrische voertuigen. De verantwoordelijkheid daarvoor ligt bij de fabrikanten van de elektrisch aangedreven voertuigen.

1.3.2 Temperatuur en warmtestraling

Temperatuur (hitte) is een maat voor hoe warm of koud iets is en wordt uitgedrukt in graden Celsius. Hoe hoger de temperatuur, hoe groter de impact op mens en constructie. Sun et al. (2020) geven geen omvattende analyse van de temperaturen bij branden van elektrische voertuigen en conventionele voertuigen. Wel hebben we diverse brandtesten met gemeten temperaturen gevonden in ons literatuuronderzoek.

De Fire Protection Research Foundation (2011) heeft temperaturen gemeten bij brand in batterijcellen van meer dan 600 °C. Peng et al. (2020) geven aan dat de hoogste vlamtemperatuur 798 °C, 807 °C en 863 °C is voor batterijen met een state of charge (SOC) van respectievelijk 50 %, 75 % en 100 %. Lam et al. (2016) hebben elektrische en conventionele voertuigen in brand gestoken. Voor beide typen voertuigen werden vergelijkbare temperaturen gemeten in de range van 800 +/- 100 °C over vergelijkbare tijdspannes (5 tot 30 minuten). Wij concluderen op grond van deze gegevens dat er qua hoogte van de temperatuur geen noemenswaardig onderscheid is tussen branden met elektrische en conventionele voertuigen.

Een andere maat voor de impact van de brand is warmtestraling (op bijvoorbeeld de constructie). Ook hiervoor geldt: hoe hoger de warmtestraling, hoe groter de impact op mens en constructie. De warmtestraling (kW/m²) is de hoeveelheid warmte (kW) die vrijkomt per eenheid vloeroppervlakte (m²) bij verbranding van de aanwezige brandbare materialen. In dit rapport gaat het om de hoeveelheid warmte die vrijkomt als gevolg van de brandende battery pack en het elektrische voertuig zelf. Sun et al. (2020) geven, op basis van Wang (2018)²⁹ aan dat bij een 100% geladen battery pack (een state of charge van 100%) de warmtestraling van een elektrisch voertuig vergelijkbaar is met die van een conventioneel voertuig.

1.3.3 Brandvermogen

De intensiteit van de brand wordt uitgedrukt in het brandvermogen (heat release rate, meestal uitgedrukt in MW (megawatt)). Wanneer een battery pack in brand vliegt of bij een brand betrokken raakt, draagt de energie-inhoud van de battery pack bij aan het totale brandvermogen.

De heat release rate (HRR) is de snelheid van warmteontwikkeling door brand, meestal gemeten in joules per seconde of watt. Voor een eenvoudiger kwantificering worden megawatt of kilowatt gebruikt.

Het vrijkomend vermogen heeft betekenis, omdat dit bepaalt hoe snel lucht en objecten opwarmen, hoe snel de brand zich uitbreidt en hoeveel rook er per seconde vrijkomt. Dit is de reden waarom bij parkeergaragebranden het brandscenario wordt vertegenwoordigd door de vermogenscurve, en niet door een temperatuurcurve (DGMR, 2015).

²⁹ Study on fire and fire spread characteristics of lithium ion batteries. In: 2018 China national symposium on combustion.

Er zijn tal van (vergelijkende) onderzoeken uitgevoerd naar de heat release rate van elektrisch aangedreven voertuigen en conventionele (fossiele brandstof-aangedreven) personenvoertuigen.

List of the Heat Release Rate (HRR) of EV in Recent Full-Scale Fire Tests, Where tPHRR and THRR are the Time to Reach PHRR and Total HRR, Respectively

Type	Vehicle	Weight before test (kg)	Battery or fuel capacity	PHRR (MW)	TPHRR (min)	THRR (GJ)
BEV	2011 Nissan Leaf [94]	1520	24 kWh	6.3	40	6.4
	Unknown [95]	1122	16.5 kWh	4.2	~ 25	6.3
	Unknown [95]	1501	23.5 kWh	4.7	~ 20	8.5
	Vehicle 1A [91]	Unknown	100% SOC	6	7	
	Vehicle 1B [91]	Unknown	85% SOC	6	6	
	Vehicle 2 [91]	Unknown	100% SOC	7	10	
	2014 Vehicle A [98]	1448	'Large' LIB 100% SOC	6.0	7	
	2013 Vehicle A [98]	1475	'Large' LIB 80% SOC	5.9	5.8	4.9
	2013 Vehicle B [98]	1659	'Large' LIB 100% SOC	6.9	10.2	4.7
	Small PHEV [91]	Unknown	Unknown	6	~ 7	
PHEV	Large PHEV [91]	Unknown	Unknown	8	7.5	
	2013 Vehicle C [98]	1466	'Small' LIB 85% SOC & full tank of gasoline	6	7.5	4.6
	2014 Vehicle D [98]	1711	'Medium' LIB 100% SOC & full tank of gasoline	7.9	8.3	5.9
	Unknown [95]	1128	Full tank of diesel	4.8	~ 20	6.9
ICEV	2003 Honda Fit [94]	1275	10 L of gasoline	2.1	35	4.3
	Unknown [95]	1404	Full tank of diesel	6.1	~ 30	10
	2015 Vehicle A [98]	1096	Full tank of gasoline	7.1	6	3.3
	2013 Vehicle B [98]	1344	Full tank of gasoline	10.8	8	5.0
	Unknown [91]	Unknown	40-50 L gasoline	7-9	~ 7	

Toelichting bij de afkortingen:

BEV = battery electric vehicle (volledig elektrisch)

PHEV = plug-in hybrid electric vehicle (hybride voertuigen die gebruikmaken van zowel een battery pack als fossiele brandstof)

ICEV = internal combustion engine vehicle, fossiele brandstof aangedreven auto's

PHRR = peak heat release rate (in MW)

TPHRR = time to peak heat release rate (in minuten tot het bereiken van de PHRR)

THRR = total heat release rate

Figuur 1.2 Brandvermogens van verschillende voertuigtypen (Sun et al., 2020)

Sun et al. (2020) hebben de hun bekende onderzoeken samengevat in figuur 1.2 op de vorige pagina en komen op basis daarvan tot de conclusie dat de (piek) hittestraling voor elektrisch aangedreven voertuigen en fossiel aangedreven voertuigen vergelijkbaar is (ca 6 MW). De gemiddelde tijd om tot de piek te komen, kent een iets grotere range voor het elektrisch aangedreven voertuig (6 tot 40 minuten) dan voor het fossiel aangedreven voertuig (6 tot 35 minuten). De totale vrijkomende hitte van elektrische voertuigen beslaat de range van 4,7 tot 8,5 GJ. Voor de fossiel aangedreven voertuigen is diezelfde range 3,3-10 GJ.

Er zijn diverse onderzoeken verricht naar het brandvermogen van elektrische voertuigen en hun battery packs (Lecocq et al., 2014; Watanabe et al., 2012; Larsson et al., 2017). Hoewel er tal van variabelen van invloed zijn op het brandvermogen (state-of-charge van de battery pack, opslagcapaciteit, et cetera), en deze variabelen in diverse onderzoeken van elkaar verschillen, concluderen Sun et al. (2020) dat het brandvermogen van een elektrisch voertuig vergelijkbaar is met dat van een conventioneel personenvoertuig. Dit wordt eveneens bevestigd in de full scale experimenten van RISE (2020). Voor elektrisch aangedreven voertuigen met een vermogen van rond de 15-25 kWh bedraagt het brandvermogen circa 4-6 MW. De energieopslagcapaciteit van battery packs in elektrisch aangedreven voertuigen neemt alsmaar toe, tot meer dan 100 kWh. De brandvermogens nemen daarmee ook toe tot circa 8 MW (Sun et al., 2020), hetgeen beduidend hoger is dan het gemiddelde brandvermogen (circa 6,8 MW) van een middenklasse conventioneel

aangedreven voertuig (Spearpoint en Tohir, 2013). Spearpoint en Tohir (2013) maken in de onderzochte voertuigen geen onderscheid in benzine -en dieselgevulde tanks. De energie-inhoud van benzine is ca. 32 MJ/liter, de energie-inhoud van diesel is ca. 36 MJ/liter. De actieradius van een 100 kWh elektrisch aangedreven voertuig bedraagt circa 400 kilometer. De actieradius van een conventioneel aangedreven voertuig (met een tankinhoud van 50 liter benzine) bedraagt circa 650 kilometer. Om diezelfde afstand van 650 kilometer als elektrisch aangedreven voertuig af te leggen, is dus een nog grotere (dan 100 kWh) batterijcapaciteit nodig. Daarmee neemt ook het brandvermogen verder toe. Deze benadering gaat ook op voor kleinere voertuigen waarbij het vermogen van de battery pack bijvoorbeeld ca. 50 kWh is. Vanwege het beperktere vermogen van de battery pack leidt dit dan weer tot een kleiner brandvermogen in vergelijking met de battery pack van 100 kWh. Het brandvermogen per gereden kilometer in een elektrisch voertuig is namelijk groter dan voor een fossiel aangedreven voertuig.

Ook bestaat er een verschil tussen conventionele en elektrisch aangedreven voertuigen wat betreft de vrijkomende hitte (energie) van de brandstof bij een vergelijkbare actieradius. Voor een actieradius van 400 kilometer heeft een elektrisch voertuig een battery pack van circa 90 kWh. Voor dezelfde afstand kent een conventioneel voertuig een benzinetank van 30 liter. De energie-inhoud van de battery pack is 2,3 GJ (90 kWh x 0,0036 x 7 (7 is een door Sun et al. aangenomen factor voor 'heat of flaming combustion' (het verschillen tussen de opgeslagen en vrijgekomen energie als gevolg van verbranding van de battery pack)), ten opzichte van 1,0 GJ bij de benzinetank (Sun et al., 2020). Het gevolg hiervan is dat voor een brand in een elektrisch aangedreven voertuig een grotere brandweerbestrijdingsinzet nodig is dan bij een brandend conventioneel voertuig. Opgemerkt dient daarbij te worden dat conventionele voertuigen vaak grotere brandstoftanks hebben dan 30 liter, met logischerwijs een grotere energie-inhoud tot gevolg.

1.3.4 Brandverloop

Het brandverloop wordt gedefinieerd als het verloop van een brand in temperatuur en vermogen in de tijd. Bedacht moet worden dat het hier gaat om de vergelijking van het brandverloop van fossiele brandstoffen versus dat van een battery pack (en niet de gehele auto en het interieur). Voor het interieur van de auto zelf is het brandverloop vergelijkbaar, uitgaande van vergelijkbaar materiaalgebruik (Sun et al., 2020).

Koolwaterstoffen, zoals diesel, kennen een brandcurve waarin de temperatuur in de eerste paar minuten zeer snel stijgt en de brand zich dus snel ontwikkelt. De kunststof tanks kunnen bezwijken, waardoor de brandstof ineens vrijkomt en ontbrandt. Bij battery packs ligt deze ontwikkelingssnelheid veelal lager. De batterijcellen hebben een aanlooptijd nodig om op te warmen, uit te gassen en vervolgens aan de verbranding deel te nemen. Als gevolg hiervan zal de brand zich in vergelijking met conventionele voertuigen in de eerste paar minuten gelijkmatiger ontwikkelen (0,2 °C/min) en pas bij het optreden van de thermal runaway een exponentieel verloop kennen (temperatuurstijging van meer dan 10 °C/minuut). Een 'normale' personenautobrand heeft over het algemeen een brandtijd van iets meer dan een half uur met een maximaal brandvermogen van circa 5 MW na ongeveer 10-15 minuten. Een brand met een elektrisch aangedreven voertuig ontwikkelt zich trager. Zonder blusinterventie (door de brandweer) is een elektrisch voertuig na circa 90 minuten uitgebrand (NFPA, 2013). Bij het blussen van het voertuig blijft de energie langer in de accu en kan de brand uren na het begin steeds weer opvlammen (Sun et al., 2020).

1.3.5 Verbrandingsproducten

Bij het verbranden van battery packs komen gevaarlijke stoffen vrij. Daarbij gaat het onder andere om bijtende stoffen van de elektrolyt en verbrandingsproducten van de gebruikte kunststoffen (onder meer van de verpakking). In deze mix van gevaarlijke stoffen komen naast gebruikelijke verbrandingsproducten als methaan (CH_4), koolstofmonoxide en -dioxide (CO en CO_2) en waterstof (H_2) ook giftige gassen als waterstoffluoride (HF) en waterstofchloride (HCl) vrij (Sun et al., 2020). Larsson et al. (2017) concluderen dat significante hoeveelheden HF vrijkomen bij een brand met een elektrisch voertuig (ongeveer 20-200 mg HF per Wh). Een battery pack met een capaciteit van 100 kWh kan 2-20kg HF uitstoten, afhankelijk van de state of charge van de battery pack. Ook uit brandproeven van RISE (2020) blijken verhoogde concentraties HF bij branden met elektrisch aangedreven voertuigen ten opzichte van conventioneel aangedreven voertuigen.

Op basis van het onderzoek van Wingfors, Fredman en Thunell (2019) kan een brandweerman of -vrouw met zijn of haar persoonlijke beschermingsmiddelen (PBM'en) een 'veilige' inzet uitvoeren als wordt uitgegaan van goede arbeidshygiëne en geen langdurige inzet met meer dan 20-30 minuten in de rook. In Wingfors, Fredman en Thunell (2019) staat beschreven dat het materiaal van de PBM'en uit Zweden (vergelijkbaar met die van Nederland) bij 4000 delen per miljoen (ppm) meer dan 20 minuten bestand is tegen doordringing met HF .

De studie van Lecocq et al. (2014) was specifiek gericht op het meten en vergelijken van vrijkomende verbrandingsproducten bij elektrische en conventionele voertuigen. In figuur 1.3 (zie de volgende pagina) hebben zij de gemeten resultaten samengevat. Het betreft zoveel mogelijk gelijkende personenvoertuigen (zowel elektrisch (EV) als conventioneel (ICE)) van twee fabrikanten (manufacturers), waarvoor vergelijkbare brandtesten zijn gehouden. De rij uiterst links geeft de elementen weer waarnaar de metingen zijn verricht.

Uit onderzoek van het RIVM (2021) blijkt dat HF , doordat het een reactieve stof is die zich bindt aan andere stoffen en rookdeeltjes, zich af zet tegen de bodem, wanden en het plafond. Door deze afzetting van HF daalt de concentratie van HF in de rook binnen 10 tot 20 minuten met meer dan de helft. Bluskleiding raakt door de depositie van HF hierdoor meer vervuild.

De belangrijkste conclusie is, dat er bijna geen verschil zit in de productie van giftige gassen in het algemeen tussen brandende elektrische en conventionele auto's. Er blijkt wel meer waterstoffluoride (HF) geproduceerd te worden bij een brand van een elektrisch aangedreven voertuig, ongeveer 1,8 keer zoveel als bij een conventioneel aangedreven voertuig (Lecocq, et. al., 2014).

Ook dient bij een elektrisch aangedreven voertuig rekening te worden gehouden met de brandbaarheid van de gassen die vrijkomen bij een thermal runaway. Zoals eerder genoemd gaan de diverse batterijcellen ontgassen zodra deze in thermal runaway geraken. Indien deze gassen niet direct door een brand worden ontstoken, kan in een besloten of slecht geventileerde ruimte een explosief mengsel van rookgassen ontstaan (Bisschop et al., 2020). Dit mengsel kan, indien het gasmengsel in zijn explosiebereik komt, bij ontsteking een rookgasexplosie tot gevolg hebben.

<i>Tested element</i>	<i>EV manufacturer 1</i>	<i>ICE vehicle manufacturer 1</i>	<i>EV manufacturer 2</i>	<i>ICE vehicle manufacturer 2</i>
<i>Test</i>	<i>Fire</i>	<i>Fire</i>	<i>Fire</i>	<i>Fire</i>
<i>Nominal Voltage (V)</i>	330 V ^a	-	355 V ^a	-
<i>Capacity (Ah)</i>	50 Ah ^a	-	66,6 Ah ^a	-
<i>Energy (kWh)</i>	16,5 kWh ^a	-	23,5 kWh ^a	-
<i>Mass (kg)</i>	1 122 kg	1 128 kg	1 501 kg	1 404 kg
<i>Lost mass (kg)</i>	212 kg	192 kg	278,5 kg	275 kg
<i>Lost mass (%)</i>	19%	17%	18,6%	19,6%
Online gas analysis – total quantity of emitted gases (FTIR and online analyzers)				
<i>CO₂ (g)</i>	460 400	508 000	618 490	722 640
<i>CO₂ (mg/lost g)</i>	2 172	2 646	2 220,8	2 627,8
<i>CO (g)</i>	10 400	12 040	11 700	15 730
<i>CO (mg/lost g)</i>	49	63	42	57,2
<i>THC (g)</i>	2 430	2 380	2 860	2 730
<i>THC (mg/lost g)</i>	11,5	12,4	10,3	9,9
<i>NO (g)</i>	500	679	770	740
<i>NO (mg/lost g)</i>	2,4	3,5	2,8	2,7
<i>NO₂ (g)</i>	198	307	349	410
<i>NO₂ (mg/lost g)</i>	0,9	1,6	1,3	1,5
<i>HF (g)</i>	1 540	621	1 470	813
<i>HF (mg/lost g)</i>	7,3	3,2	5,3	3
<i>HCl (g)</i>	2 060	1 990	1 930	2 140
<i>HCl (mg/lost g)</i>	10	10,4	6,9	7,8
<i>HCN (g)</i>	113	167	148	178
<i>HCN (mg/lost g)</i>	0,5	0,9	0,5	0,6
Thermal effects				
<i>Maximal HRR (MW)</i>	4,2 MW	4,8 MW	4,7 MW	6,1 MW
<i>Heat of combustion (MJ)</i>	6 314 MJ	6 890 MJ	8 540 MJ	10 000 MJ
<i>Heat of combustion/unit mass loss (MJ/kg)</i>	29,8 MJ/kg	35,9 MJ/kg	30,7 MJ/kg	36,4 MJ/kg

^a Characteristics of the battery pack of the EV.

Figuur 1.3 Resultaten verbrandingsproducten EV's en ICEV's (Lecocq et al., 2014)

1.4 Verschillen tussen elektrische en conventionele voertuigen

Nu we de fysische karakteristieken van elektrisch aangedreven voertuigen hebben behandeld, worden hieronder een aantal relevante veiligheidsverschillen opgesomd tussen elektrisch aangedreven voertuigen en conventionele voertuigen die door fossiele brandstoffen worden aangedreven.

1.4.1 Kans op het ontstaan van brand in een elektrisch voertuig in een parkeergarage

De kans op het ontstaan van brand in een geparkeerd elektrisch aangedreven voertuig in een parkeergarage is waarschijnlijk niet groter dan die in een voertuig dat wordt aangedreven door fossiele brandstoffen (Sun et al., 2020).

Als gevolg van het laden van battery packs van elektrisch aangedreven voertuigen in een parkeergarage kunnen we verwachten dat de kans op het ontstaan van brand wel groter wordt, omdat

- > er een extra activiteit wordt uitgevoerd in de parkeergarage en er derhalve sprake kan zijn van een aantal additionele brandoorzaken (zie verder)
- > de technologie nog volop wordt doorontwikkeld en zich daarmee nog in de fase met 'kinderziektes' bevindt
- > niet kan worden uitgesloten dat een bestaande elektrische installatie onvoldoende veilig is: denk bijvoorbeeld aan een elektrische installatie die het benodigde ampèreage voor het opladen niet aankan, of die beschadigd of slecht onderhouden is.

Onbekend is nog in hoeverre productiefouten in battery packs en veroudering daarvan in de toekomst een rol spelen bij de kans op brand. UL (2013) heeft onderzoek gedaan naar de verouderingseffecten op de veiligheid van li-ion batterijen. Uit een uitgevoerde test bleek dat warmte-genererende reacties in verouderde exemplaren eerder optraden in vergelijking met nieuwe exemplaren, met als mogelijk gevolg een sneller bereiken van de ontstaanstemperatuur van thermal runaway. Echter, met een BMS wordt het risico op dit faalmechanisme beperkt.

Het is op basis van TWV (2015) aannemelijk te veronderstellen dat verhoging van de interne weerstand en de verminderde capaciteit voorbeelden zijn van de belangrijkste verouderingsparameters van li-ion batterijen. De stijging van de interne weerstand zal niet enkel een negatieve impact hebben op de prestatie van de batterij (verlies aan vermogen), maar ook op de energie-efficiëntie. De grotere weerstand verhoogt de warmteontwikkeling in de cellen, wat op zijn beurt de verouderingseffecten verder zal versterken en versnellen.

Echter: door de veroudering van batterijen neemt de maximaal mogelijke State of Charge (SoC) af ten opzichte van een nieuwe batterij. Omdat de intensiteit van een thermal runaway afhankelijk is van de SoC, neemt de intensiteit van de thermal runaway af naarmate de batterij veroudert (Essl, Golubkov & Fuchs, 2021). Ook produceert een verouderde batterij in thermal runaway minder brandbare gassen dan een nieuwe batterij.

Tenslotte wordt opgemerkt dat storingen in het batterijpakket van het elektrisch aangedreven voertuig kenbaar worden gemaakt via het BMS (Battery Management System)³⁰. Daarbij moet wel worden bedacht dat het de verantwoordelijkheid van de eigenaar van een elektrisch aangedreven voertuig zelf is om aan het voertuig bij een storing het juiste onderhoud te laten uitvoeren en gedurende die tijd niet in een parkeergarage te parkeren.

Kortom: het aantal onzekerheden omtrent de kwaliteit van de li-ion cellen neemt bij verouderende battery packs toe. Ook het aandeel ouder wordende elektrisch aangedreven voertuigen neemt in de komende jaren toe. Over de mate waarin en de aard waarop dit soort

³⁰ Storingen elders in de auto, bijvoorbeeld een lekke band, worden kenbaar gemaakt via de boordcomputer van het betreffende voertuig.

mechanismen werkt, zijn we in onze literatuurstudie geen publicaties tegengekomen. Daarom is het van belang dit onderwerp mee te nemen in toekomstige onderzoeken naar de kans op het ontstaan van brand in elektrisch aangedreven voertuigen, om te kunnen begrijpen hoe deze verouderingsmechanismen werken en hoe vaak zij voorkomen.

1.4.2 Additionele brandoorzaken

Als gevolg van het parkeren en laden van elektrisch aangedreven voertuigen is er ten opzichte van conventionele voertuigen een aantal extra brandoorzaken in parkeergarages te noemen (Sun et al., 2020):

- > ondeugdelijke/beschadigde kabel of laadpaal
- > problemen met het batterijmanagementsysteem met direct of indirect een thermal runaway en brand als gevolg
- > een auto die tegen een laadpaal aanrijdt
- > een elektrisch aangedreven voertuig die de parkeergarage is binnengereden met een 'kapotte', maar niet waargenomen, battery pack

Mogelijke extra brandveiligheidsrisico's rondom snellaadpalen zijn nog onbekend. Onduidelijk is bijvoorbeeld of snellaadpalen straks op elke battery pack passen.

1.4.3 Brandverloop

- > Branden in elektrisch aangedreven voertuigen ontwikkelen zich anders: ze ontwikkelen zich trager en duren langer.
- > Branden in elektrisch aangedreven voertuigen kunnen gepaard gaan met (herhaaldelijke) kleine explosies, rondvliegende delen en steekvlammen.
- > Naar verwachting verhogen elektrisch aangedreven voertuigen de kans op zogenaamde 'travelling car fires'. Travelling car fires zijn branden in parkeergarages die van voertuig naar voertuig overgaan en zich als het ware door de parkeergarage 'verplaatsen'. Vanwege het langdurig door kunnen blijven branden van de battery pack van elektrisch aangedreven voertuigen kan zowel de aanstraling tussen de voertuigen als de verplaatsing van de brand ook door blijven gaan. Ook de explosies en fakkels dragen hieraan bij.
- > Een thermal runaway zonder directe ontbranding van de door de thermal runaway geproduceerde gassen kan een rookgasexplosie tot gevolg hebben bij het bereiken van de onderste explosiegrens en de aanwezigheid van een ontstekingsbron.

1.4.4 Toxische risico's

- > Elektrisch aangedreven voertuigen produceren meer waterstoffluoride (HF) bij een brand dan een conventioneel aangedreven voertuig.
- > In verbrande li-ion battery packs bevindt zich lithium(oxide). Na onderdompelen in water reageert lithiumoxide met water tot lithiumhydroxide. De pH van koelwater (dat nog in contact is met een uitgebrande battery pack) kan na verloop van tijd steeds verder oplopen (RIVM, 2019). De mate van vervuiling is hierbij mede afhankelijk van de mate van beschadiging van het battery pack
- > Uit onderzoek blijkt dat het gebruikte bluswater bij elektrisch aangedreven voertuigen nauwelijks een grotere impact op het milieu heeft dan het bluswater dat wordt gebruikt bij conventionele voertuigen (NFPA, 2013). Dat betekent dat het bluswater via het riool kan worden afgevoerd. De pH van koelwater in een dompelpak (dat nog in contact is met een uitgebrande battery pack) kan na verloop van tijd steeds verder oplopen en kan

wél een grotere impact op het milieu hebben dan het gebruikte bluswater bij elektrisch aangedreven voertuigen.

1.4.5 Vluchtveiligheid

- > Door het ontstaan van toxische verbrandingsproducten kan er een situatie ontstaan die voor het vluchten ongunstig is. Ook de rest van het brandende voertuig (met name de kunststofonderdelen) zorgt, net als bij conventionele voertuigen met kunststofonderdelen, al voor ernstig toxische rook, waardoor het vluchten op zich al zeer kritiek is (RISE, 2020). Systemische gezondheidseffecten door blootstelling aan HF-houdende rook van li-ion battery packs lijken onwaarschijnlijk.
- > Het vrijkomen van HF klachten veroorzaken. Bij geringe blootstelling aan HF kunnen deze klachten bestaan uit huidirritatie, bij ernstig blootstelling uit chemische brandwonden (RIVM, 2021). De impact van deze toegenomen hoeveelheid HF op de vluchtveiligheid is echter nihil: wanneer rook van voertuigbranden wordt ingeademd is er per definitie sprake van een schadelijke mix van giftige gassen, onafhankelijk van de aandrijving van het voertuig (RISE, 2020).
- > De kans bestaat dat rook met een verhoogde concentratie HF verspreid wordt vanuit de parkeergarage via geopende deuren naar vluchtroutes en trappenhuis van bovenliggende gebouwen, of via de open constructie (in geval van open parkeergarages).

1.4.6 Repressieve inzet

- > Het optreden van explosies, de benodigde waterhoeveelheid (koelend vermogen), de aanwezigheid van toxische gassen, de onbekendheid met de stabiliteit van de constructie en de onbekendheid met het mogelijke brandverloop (uitbreiding naar meerdere auto's) hebben invloed op de uitvoering en het resultaat van een repressieve inzet. Ten opzichte van een situatie zonder elektrisch aangedreven voertuigen zijn de risico's en onzekerheden met betrekking tot de repressieve inzet toegenomen.
- > Elektrisch aangedreven voertuigen waarvan de battery pack deelneemt aan de brand, zijn zeer moeilijk of niet te blussen vanwege de gesloten constructie van de battery pack en vanwege het steeds opnieuw herontbranden van de bij de (zichzelf propagerende) thermal runaway vrijkomende gassen.
- > Als gevolg van het brandverloop kan een brand in een battery pack alleen worden beheerst door langdurig te koelen met veel water. Voor blussing is het noodzakelijk dat bluswater in de battery pack kan worden gebracht. Zonder voorzieningen aan de battery pack is dat thans het meest succesvol door de battery pack van het voertuig onder te dompelen in water (IFV, 2021b).
- > Bij een brand in een elektrisch aangedreven voertuig bestaat de kans dat het voertuig zich in beweging zet.
- > Bij de repressieve inzet is het nodig dat de brandweerkleding wordt ontsmet in verband met het vrijkomen van toxische en bijtende gassen, waaronder grotere hoeveelheden HF ten opzichte van conventioneel aangedreven voertuigen (RIVM, 2021).

1.4.7 Risico van betonrot als gevolg van lekstroom

Beschrijving risico

Door de toename van het elektrisch rijden is er een verschuiving gaande van het gebruik van wisselspanning (AC) naar gelijkstroom (DC)³¹. Hierdoor neemt ook het risico van corrosie van de wapening van beton, betonrot genoemd, ten gevolge van DC-lekstromen toe. DC lekstromen worden immers geleid door metaal, zoals betonwapening, en daardoor corrodeert dit metaal langzaam en lost het uiteindelijk op.

Bij DC speelt dit probleem meer ten opzichte van AC. Dit omdat bij AC de stroomrichting van nature wisselt (frequentie), en bij DC de stroom één richting op gaat. Door die wisseling van richting heft bij AC de lekstroom zichzelf als het ware op, waar dit bij DC niet zo is. De standaard probleemoplossing is toepassing van een aardlekschakelaar, die boven een (lek)stroom van 6 mA de installatie uitschakelt. Blijft de lekstroom langdurig net onder deze 6 mA kan het beton dus corroderen.

Beschrijving oplossingsrichtingen

Voor dit probleem bestaan twee oplossingsrichtingen: lekstroom voorkomen en tegenstroom geven. Bij het voorkomen van lekstromen moeten producten op een dermate manier worden ontworpen dat deze lekstroom-loos zijn. Op dit moment zijn er geen normen die dat voorschrijven. De andere oplossingsrichting is het geven van tegenstromen die precies dezelfde waarde uitsturen als de lekstroom. Dit dient in het installatieontwerp te worden meegenomen bij bestaande apparaten en/of installaties

³¹ <https://www.nen.nl/nieuws/dc-en-betonrot>

2 Scenario's

Er is nog weinig casuïstiek beschikbaar over branden met elektrisch aangedreven voertuigen in parkeergarages. Hoewel er niets kan worden gezegd over de kans dat zij optreden, is het wel mogelijk een aantal realistische scenario's te schetsen die zich mogelijk kunnen voordoen, en te kijken naar de mogelijke effecten daarvan. In deze publicatie hebben we de keuze gemaakt voor drie realistische scenario's die hieronder beschreven staan.

De scenario's dienen 'slechts' als denkraam om te kunnen komen tot maatregelen voor brandpreventie- en repressie zoals beschreven in hoofdstuk 3 en 3 van deze publicatie. In de praktijk zal de brandweer bovendien de inzetstrategie mede bepalen op basis van het scenario waarvan sprake is als zij bij de brand arriveert.

2.1 Scenario 1

De li-ion battery pack van het elektrische voertuig *brandt zelf*: één personenvoertuig brandt en blijft langdurig branden.

Toelichting mogelijke brandoorzaak/branduitbreiding

De meest voor de hand liggende oorzaak is dat de brand is ontstaan in de battery pack en als gevolg van een thermal runaway langdurig blijft branden. Daarbij kan het voertuig al dan niet op een laadpaal zijn aangesloten. In dit scenario is er dus nog geen sprake van branduitbreiding naar andere voertuigen. In dit stadium van de brand zijn de mogelijkheden voor de repressieve inzet groter dan die bij de volgende scenario's (zie echter ook hoofdstuk 4 waarin verder wordt ingegaan op de beperkingen van een repressieve inzet in een parkeergarage).

2.2 Scenario 2

De li-ion battery pack van het elektrisch aangedreven voertuig *wordt aangestraald*: één personenvoertuig brandt, met een mogelijke branduitbreiding als gevolg.

Toelichting mogelijke brandoorzaak/branduitbreiding

We gaan er in dit scenario van uit dat een voertuig naast een elektrisch aangedreven voertuig in brand staat. Daarbij kan het elektrisch aangedreven voertuig al dan niet aan een laadpaal zijn aangesloten. Het elektrisch aangedreven voertuig inclusief de battery pack wordt aangestraald door de auto die in brand staat, waardoor branduitbreiding mogelijk is. Als gevolg van de aanstraling van de battery pack kan mogelijk een thermal runaway ontstaan in de battery pack. Het aanstralen van de battery pack kan ook plaatsvinden doordat de brandstoftank van de naastgelegen auto die in brand staat is bezweken, waardoor een brandende vloeistofplas is ontstaan onder het elektrisch aangedreven voertuig.

2.3 Scenario 3

Er zijn meerdere battery packs van elektrisch aangedreven voertuigen die branden.

Toelichting mogelijke brandoorzaak/branduitbreiding

We gaan er in dit scenario van uit dat er meerdere elektrisch aangedreven voertuigen in brand staan, waarbij ook de battery packs van deze voertuigen branden. De voertuigen kunnen al dan niet zijn aangesloten op een laadpaal. Bij dit scenario kan er bijvoorbeeld sprake zijn van een travelling car fire.

De bovenstaande scenario's hebben we meegenomen bij het bepalen van de effectiviteit van de brandpreventieve maatregelen (hoofdstuk 3), van de mogelijke brandbestrijdingstactieken (hoofdstuk 4) en bij het specificeren van maatregelen per type parkeergarage (hoofdstuk 5).

3 Maatregelen

3.1 Inleiding

In dit hoofdstuk werken we mogelijke maatregelen uit die erop gericht zijn om de brandveiligheidsrisico's in parkeergarages waarin elektrisch aangedreven voertuigen worden geparkeerd of geladen te beperken. De uitwerking vindt plaats door eerst het advies op hoofdlijn te presenteren. In een donker gearceerd tekstblok daaronder, lichten we het advies waar nodig nader toe of geven we mogelijke alternatieven, toepassingsvoorwaarden en aandachtspunten. De maatregelen moeten niet gelezen worden als een optelsom; afhankelijk van de constructie, lay-out en dergelijke van de parkeergarage, kan uit deze maatregelen een maatwerkpakket samengesteld worden waarmee brandveiligheidsrisico's in parkeergarages kunnen worden verminderd. Bovendien zijn de maatregelen geen norm tot in detail, maar bieden deze ruimte tot maatwerk.

Daarbij verdelen we de maatregelen in de volgende categorieën³²:

- > bouwkundige maatregelen
- > installatietechnische maatregelen
- > organisatorische maatregelen
- > repressieve maatregelen.

Er worden maatregelen gepresenteerd die de brandveiligheidsrisico's van parkeergarages in algemene zin kunnen beperken (en daarmee ook voor parkeergarages waarin elektrisch aangedreven voertuigen worden geparkeerd en geladen) en maatregelen die specifiek zijn gericht op het parkeren en laden van elektrisch aangedreven voertuigen. In de paragrafen is dit onderscheid met tussenkopjes aangegeven. Per paragraaf worden eerst de algemene maatregelen behandeld, en daarna de specifieke maatregelen voor het parkeren en laden van elektrisch aangedreven voertuigen

De maatregelen zijn geformuleerd in de vorm van een advies dat veiligheidsadviseurs van de brandweer kunnen geven aan:

- > de ontwerper/architect
- > de betrokken adviseurs
- > de aanvrager van een omgevingsvergunning voor het bouwen van een nieuwe parkeergarage
- > de bouwer
- > de eigenaar van een bestaande parkeergarage
- > de beheerder van een parkeergarage
- > de gebruiker van een parkeergarage.

³² Omdat de gekozen indeling naar onze mening beter aansluit op de bredere groep van potentiële gebruikers van deze publicatie, hebben we niet gekozen voor een indeling volgens het kenmerkschema voor de categorisering van de maatregelen.

3.2 Bouwkundige maatregelen

3.2.1 Algemene maatregelen

- > Neem bouwkundige maatregelen om de uitbreiding van brand in de parkeergarage te beperken.

Hierbij kan vooral worden gedacht aan het (verder) indelen van de parkeergarage in brandcompartimenten of afscherming tussen voertuigen. Dit kan een compartimentering zijn op basis van de prestatie-eisen van Bouwbesluit 2012 (compartimenten met een oppervlakte van maximaal 1.000 m²), of kleiner. Op basis hiervan kan de brand beperkt worden tot een kleiner gedeelte van de parkeergarage en kan een travelling car fire afhankelijk van de toegepaste brandcompartimentering worden beperkt.

Brandcompartimentering kan op verschillende wijze worden gerealiseerd.

- > Middels fysieke brandscheidingen door muren/beplating of brandschermen tussen één of rondom een klein aantal (elektrisch aangedreven) voertuigen te plaatsen.
- > Het brandwerend afscheiden van de parkeergarage van andere ruimten die grenzen aan de parkeergarage (zoals bijvoorbeeld een bergingsblok waarin goederen zijn opgeslagen).
- > Toepassing van een brandschuifdeur of brandwerend rolluik (zie echter ook de onderstaande nadelige effecten daarvan).

Hanteer hierbij als uitgangspunt dat vanuit elk brandcompartiment kan worden gevlucht én de brand kan worden benaderd (ten behoeve van oriëntatie in verband met vluchten en de repressieve inzet).

Een (verdere) indeling van de parkeergarage in brandcompartimenten kan overigens wel een aantal ongunstige effecten hebben op de bestrijdbaarheid van de brand.

- > In een kleiner brandcompartiment bestaat het risico dat de temperatuur sneller stijgt, met mogelijk het ontstaan van flashover-omstandigheden als gevolg.
 - > Plaatsbepaling van het brandende voertuig en daarmee de bestrijdbaarheid kunnen lastiger zijn.
- Toepassing van (extra) brandcompartimentering vraagt dus om een zorgvuldige afweging tussen de geschetste voor- en nadelen en dus om maatwerk voor de desbetreffende situatie. Daarbij heeft vanuit brandveiligheidsoogpunt toepassing van een open overzichtelijke ruimte met een sprinklerinstallatie (zie paragraaf 3.3) de voorkeur boven een nadere indeling in brandcompartimenten.

Daar waar de vluchtroutes van bijvoorbeeld woningen of andere gebruiksfuncties rechtstreeks uitkomen op de parkeergarage wordt aanbevolen om een rooksluis toe te passen, zodat rook niet direct in de vluchtroute terecht komt. Ook kan gedacht worden aan de toepassing van deuren met een verbeterde rookwerendheid die zijn afgestemd op de Europese classificatie Ra en R200 tussen de parkeergarage en vluchtroute. Dergelijke deuren zijn vanaf 1 juli 2021 verplicht voor woningtoegangsdeuren in woongebouw bij nieuwbouw en verbouw³³. Denk ten slotte ook aan het beschermen van gebouwgebonden infrastructurele leidingen, zoals bijvoorbeeld de energievoorziening van het bovenliggende gebouw die door de parkeergarage kan lopen.

3.2.2 Maatregelen specifiek gericht op elektrisch aangedreven voertuigen

- > Overleg met een constructeur over eventueel mogelijke extra bescherming van de bouwconstructie nabij parkeerplekken met laadvoorzieningen.

³³ <https://www.rijksoverheid.nl/actueel/nieuws/2021/03/05/wijzigingen-bouwregelgeving>

Denk bijvoorbeeld aan het brandwerend bekleden of zwaarder uitvoeren van de bouwconstructie ter plaatse van de oplaadpunten. Brandwerend bekleden beperkt de thermische belasting op de constructie, het zwaarder uitvoeren vergroot de weerstand tegen bezwijken.

Deze maatregel kan vooral effectief zijn bij 'scenario 1' (zie hoofdstuk 2: 1 personenauto brandt en blijft langdurig branden). Bij scenario 2 en 3 (bijvoorbeeld travelling car fire of een compartimentsbrand) is plaatselijk bekleden of plaatselijk zwaarder uitvoeren van de bouwconstructie niet effectief meer. Als maatregel voor dergelijke scenario's kan worden overwogen om voor de gehele bouwconstructie een hogere brandwerendheid met betrekking tot bezwijken te hanteren. Dat laatste is sowieso verstandig in het geval er zich boven de parkeergarage een ander gebouw bevindt, zodat de kans op schade en/of bezwijken bij brand kan worden beperkt. Deze maatregelen zijn dus erop gericht om de kans te vergroten dat een garage 'een uitbrandscenario' kan overleven. Bij een uitbrandscenario wordt niet ingegrepen in de brand, maar wordt gewacht totdat de brandstof is opgebrand.

Overigens is nader onderzoek nodig om de effecten van een brand in een elektrisch aangedreven voertuig op de constructie van parkeergarages te bepalen, met het oog op de verschillen in het brandverloop ten opzichte van brandende conventioneel aangedreven voertuigen en de vlamuittreding (zoals een fakkel met een kortdurende piekbelasting). Bovendien moet worden bedacht dat de constructies van parkeergarages doorgaans zijn ontworpen en gedimensioneerd op basis van een normatief brandverloop. De vraag is welk effect een afwijkend brandverloop zoals bij een elektrisch aangedreven voertuig heeft op de constructie.

- > Plaats voor de laadpalen een aanrijbeveiliging, of breng deze aan op een plek waar aanrijden onmogelijk is.

Dit kan bijvoorbeeld worden gerealiseerd door één of meerdere paaltjes te plaatsen voor de laadpaal of een beschermbeugel, zodat de paal bij een aanrijding niet beschadigd kan raken. Alternatief is om de laadpaal zo te plaatsen dat deze niet geraakt kan worden door voertuigen (bijvoorbeeld 1,5 – 2 m boven de vloer).

3.3 Installatietechnische maatregelen

3.3.1 Algemene maatregelen

- > Breng een effectief brandbeheerssysteem aan, zoals een sprinkler- of watermistinstallatie.

Met een automatische blusinstallatie blijft een brand (langdurig) zelfstandig beperkt tot een klein aantal auto's (lokale brand), waarmee een travelling fire wordt voorkomen. Deze lokale brand heeft een kortdurende (lokale) beperkte thermische belasting op de draagconstructie van de garage tot gevolg (IFV, 2021c). Als gevolg hiervan:

- > neemt het risico van instorting, branduitbreiding en rookverspreiding naar andere bouwdelen en de omgeving af,
- > wordt het risico op slachtoffers beperkt,
- > neemt de kans toe dat aanwezige personen zelfstandig kunnen vluchten,
- > neemt de kans toe dat vlucht- en aanvalsroutes intact blijven,
- > neemt de hulpvraag voor de brandweer (blussing en redding) af,
- > neemt de kans toe dat de brandweer een effectieve inzet kan doen en de situatie beheersbaar kan houden.

Bovendien kunnen gassen ermee worden gekoeld en opgemengd. Voor meer informatie wordt verwezen naar het CCV-inspectieschema brandbeveiliging.³⁴

Met het oog op elektrisch aangedreven voertuigen moet bedacht worden dat met een dergelijke installatie een brand in een auto niet wordt geblust: waterdruppels kunnen simpelweg niet in de battery pack komen en de brandhaard niet bereiken. De kans op branduitbreiding naar aangrenzende constructies en voertuigen kan echter wel worden verkleind (RISE, 2018). Nader onderzoek is nodig om te bepalen of een sprinkler- of watermistinstallatie ook geschikt is om een beginnende brand van een elektrisch aangedreven voertuig onder controle te houden, of dat daarvoor altijd een aanvullende brandweerinzet noodzakelijk is. Verder is nader onderzoek nodig om te bepalen welk type brandbeheerssysteem het beste past bij een brandscenario met elektrisch aangedreven voertuigen.

Een mogelijke toekomstige ontwikkeling: In het geval een sprinkler in de battery pack wordt aangebracht, kan deze de cellen die te maken hebben met een thermal runaway goed koelen en een daadwerkelijke blussing opleveren (RISE, 2019a).

- > Breng een branddetectiesysteem aan met rook- en/of hittemelders en een gasdetectiesysteem dat koolmonoxide detecteert.

Voor een besloten parkeergarage van meer dan 1.000 m² is een automatische brandmeldinstallatie met volledige detectie volgens het Bouwbesluit 2012 reeds verplicht. Maar ook in parkeergarages van minder dan 1.000 m² is snelle detectie van groot belang, zeker in de nachtelijke uren. Deze zorgt voor een snelle signalering van de brand en alarmering, waardoor er acties kunnen worden ondernomen om het incident klein te houden. Dit is wel afhankelijk van een gedegen alarmopvolging door een BHV'er of bewonersorganisatie. Met name in woongebouwen vraagt dat aandacht. Overigens heeft een installatie die de brand bij de bron aanpakt (zoals een sprinklerinstallatie), de voorkeur. De kans om het incident klein te houden is dan namelijk groter.

Naast branddetectie in de parkeergarage zelf, zijn er andere opties. In de VS werkt men aan detectietechnologieën die in de battery packs zijn geïntegreerd; hiermee kunnen bijvoorbeeld druk, gasopwekking en volumeveranderingen worden gedetecteerd (RISE, 2019). Waarschijnlijk zullen we in de toekomst steeds meer te maken krijgen met dergelijke innovatievere detectiemogelijkheden in de voertuigen zelf.

Uit een onderzoek waarin verschillende melders zijn getest, bleek dat CO-melders de snelste melding geven (DNV-GL, 2019). Opgemerkt moet hierbij worden dat we CO-melders in Nederland wel kennen (vaak samen met LPG) maar niet als vorm van branddetectie. De Nederlandse normering en certificering zijn hierop ook niet ingericht.

Een sprinklerinstallatie is over het algemeen ook voorzien van thermische melders. Met toepassing van het gelijkwaardigheidsbeginsel (artikel 1.3 van het Bouwbesluit 2012) is optimalisatie denkbaar en kan mogelijk dubbeling met een separate brandmeldinstallatie (met eveneens thermische melders) worden voorkomen. Dit betreft echter maatwerk dat op de specifieke situatie moet worden afgestemd (Adviescommissie toepassing en gelijkwaardigheid bouwvoorschriften, 2016).

- > Overweeg extra detectie. Denk hierbij aan een branddetectie middels 'lint detectie' (ook geschikt voor parkeergarages en weinig onderhoud vergend).

³⁴ https://hetccv.nl/fileadmin/Afbeeldingen/Certificatie-en-inspectie/Inspectie_brandbeveiliging/CCV-Inspectieschema_Brandbeveiligingssysteem__VBB-BMI-OAI-RBI__versie_12.0__01-01-2019_.pdf.

Door extra detectie en alarmering kan de ontvluchting sneller kan worden gestart en kunnen acties worden ondernomen om het incident klein te houden.

- > Overweeg toepassing van verdringingsventilatie.

Met de toepassing van verdringingsventilatie wordt beoogd zicht op de brand te creëren en de kans op een offensieve binneninzet te vergroten. Daarbij kan gedacht worden aan het realiseren van voldoende luchtsnelheid over de volledige doorsnede van de garage (bijvoorbeeld 1,5 m/s conform NEN 6098). Dit betekent al snel veertigvoudige ventilatie. Bedacht moet echter worden dat dit alleen zorgt voor gunstiger omstandigheden voor de brandbestrijding. De ventilatie wordt in de meeste gevallen namelijk pas actief nadat personen uit de parkeergarage zijn gevlucht. Daarnaast werkt het principe van verdringingsventilatie vrijwel alleen bij tunnelvormige garages (het systeem is vorm- en ontwerpgevoelig) en is de toegevoegde waarde nog niet geheel bekend.

- > Overweeg toepassing van rook- en warmteafvoer (RWA).

Toepassing van RWA (meestal in de vorm van nul- tot tienvoudige ventilatie) kan ook een bijdrage leveren aan de afvoer van verbrandingsproducten, maar kan, afhankelijk van de positionering, ook zorgen voor (ongunstige) brand- en rookverspreiding binnen de garage. De voorziening heeft vrijwel alleen effect als de brand uit is en is bedoeld om de parkeergarage daarna rookvrij te maken. In veel bestaande parkeergarages van meer dan 1.000 m² is in een dergelijke installatie voorzien. Overigens worden dit soort voorzieningen sinds 2012 niet meer toegepast, omdat zij nauwelijks van toegevoegde waarde bleken te zijn en de LNB-Richtlijn waarin zij destijds werden voorgeschreven, is ingetrokken.

3.3.2 Maatregelen specifiek gericht op elektrisch aangedreven voertuigen

- > Draag zorg voor een voorziening waarmee bij calamiteiten in één handeling alle laadvoorzieningen stroomloos kunnen worden geschakeld door de brandweer³⁵ of andere aanwezigen, bij voorkeur in combinatie met een signalering (een rode lamp, tekstbord of iets dergelijks) waarmee is aangegeven dat alle laadvoorzieningen daadwerkelijk stroomloos zijn geschakeld.

Voor de wijze van stroomloos schakelen zijn diverse mogelijkheden denkbaar.

- > Een systeem waarmee de laadvoorziening automatisch wordt uitgeschakeld door een reeds aanwezige brandmeldinstallatie.
- > Een vandalisme-bestendige noodknop die wordt geplaatst bij de hoofdentree of op een andere strategische plaats (uit -of ingang van de garage). Denk bijvoorbeeld aan een neonschakelaar die door de brandweer met een haak is uit te schakelen. Geef de noodknop duidelijk herkenbaar aan en stem de precieze locatie, uitvoering en herkenbaarheid af met de brandweer.
- > Een noodschakelaar/-knop op elke laadpaal/-voorziening die de stroomvoorziening daarvan direct verbreekt. Deze kan op de laadpaal aanwezig zijn of ernaast. Geef de noodschakelaar/-knop duidelijk herkenbaar aan.

Alternatief is het aanbrengen van een plattegrond bij de brandweertoegang waarop voor de brandweer is aangegeven waar de meterkast zich bevindt. Bij meerdere meterkasten gaat het dan om de meterkast waarin de laadpalen zijn aangesloten, alsmede de meterkast waarin de hoofdschakelaar voor het gehele gebouw zit (voor het geval de andere meterkast niet bereikbaar is).

³⁵ Naar verwachting wordt een dergelijke voorziening verplicht in het toekomstige Bbl: <https://www.internetconsultatie.nl/verzamelwijzigingbbl2021>.

Geef in de meterkast duidelijk herkenbaar aan hoe alle laadpalen/-voorzieningen buiten werking kunnen worden gesteld.

Aandachtspunten.

- > Ga na of de capaciteit van de voeding van de elektriciteitsvoorziening toereikend is voor het gelijktijdig functioneren van een brandveiligheidsvoorziening (bijvoorbeeld RWA) en de laadfaciliteiten. Indien dit niet het geval is, is het automatisch uitschakelen van de laadfaciliteiten sowieso noodzakelijk omdat anders de brandveiligheidsvoorziening niet functioneert.
- > Bij een particuliere parkeergarage komt het voor dat de voeding van de laadpalen rechtstreeks vanuit de woningen komt. De mogelijkheid om de laadpalen bij dergelijke afzonderlijke voedingen centraal uit te kunnen schakelen zal in dat geval in het ontwerp van de elektrische voorziening moeten worden meegenomen.

- > Plaats de parkeerplaatsen voor elektrisch aangedreven voertuigen, de laadpalen of andere laadvoorzieningen:
 - niet op plaatsen waar ventilatielucht wordt toegevoerd, zoals bij een open gevel van de parkeergarage.

Hiermee kan worden voorkomen dat bij een brand in een elektrisch aangedreven voertuig de verbrandingsproducten in de richting van de garage worden verspreid. De inrit van de parkeergarage is overigens in de praktijk vaak de toevoer van ventilatielucht. Vanuit repressief oogpunt heeft het plaatsen van elektrisch aangedreven voertuigen in de nabijheid van de inrit juist de voorkeur (zie paragraaf 3.5). Aangeraden wordt *in deze situatie* het belang van brandbestrijding (ter voorkoming van uitbreiding van brand, schade, overlast en dergelijke) te laten prevaleren boven het beperken van rookverspreiding in de parkeergarage.

Overweging: rookverspreiding heeft negatieve consequenties voor de vluchtveiligheid. Ervan uitgaande dat mensen direct na ontdekking/alarmering van de brand gaan vluchten, staan zij hooguit kortstondig bloot aan (toxische) verbrandingsproducten door de rookverspreiding. Indien vluchten niet mogelijk is of op een later moment plaatsvindt, kunnen mensen daarentegen langer blootstaan aan (toxische) verbrandingsproducten. De ventilatie in de parkeergarage kan, afhankelijk van het ontwerp en uitvoering, zowel een gunstig als ongunstig effect hebben op het beperken van de verspreiding van toxische verbrandingsproducten.

- indien mogelijk op een open bovenste parkeerdek van een parkeergarage.

Op het bovenste parkeerdek is de belasting op de constructie minimaal en ook de rookoverlast van rook binnen het bouwwerk. Vanuit het oogpunt van repressieve inzet is een bovenste parkeerdek niet altijd goed bereikbaar. Dit kan een dilemma opleveren dat vraagt om een plaatselijke afweging. De voorkeur heeft plaatsing dicht bij de inrit, omdat dan indien mogelijk een snelle repressieve inzet kan worden gedaan en de kans dat het voertuig naar buiten kan worden gesleept groter is. Bij een groter aantal elektrisch aangedreven voertuigen is plaatsing nabij de inrit praktisch niet mogelijk meer. In dat geval kan plaatsing op het bovenste parkeerdek een alternatief zijn.

- niet bij een vluchtroute voor personen.

Plaats de laadpalen/-voorzieningen niet bij vluchtroutes voor personen in verband met een verspreiding van giftige en bijtende ontledings- en verbrandingsproducten die kunnen vrijkomen bij een thermal runaway. Dergelijke stoffen kunnen impact hebben op de vluchtmogelijkheden, bijvoorbeeld wanneer zij blijven hangen bij de toegang tot een trappenhuis, of het trappenhuis

instromen. Vanuit repressief oogpunt heeft het de voorkeur dat de brandlocatie dicht bij de brandweertoegang ligt. De brandweertoegang kan echter ook een vluchtroute zijn. Hier spelen dus tegenstrijdige veiligheidsbelangen, waartussen een afweging moet worden gemaakt. Aangeraden wordt om *in deze situatie* de repressieve overwegingen te laten prevaleren en in het geval de brandweertoegang tevens vluchtroute is, de elektrisch aangedreven voertuigen zo dicht mogelijk bij de brandweertoegang te positioneren. Een parkeergarage is namelijk geen ruimte waarin zich doorgaans veel personen bevinden. Ervan uitgaande dat mensen direct na ontdekking/alarmering van de brand gaan vluchten, staan zij hooguit kortstondig bloot aan (toxische) verbrandingsproducten door de rookverspreiding. Indien vluchten niet mogelijk is of op een later moment plaatsvindt, kunnen personen daarentegen langer blootstaan aan (toxische) verbrandingsproducten. De ventilatie in de parkeergarage kan, afhankelijk van het ontwerp en uitvoering, zowel een gunstig als ongunstig effect hebben op het beperken van de verspreiding van toxische verbrandingsproducten.

- > Positioneer afvoerkanalen zodanig dat zoveel mogelijk wordt voorkomen dat verbrandingsproducten die uit de garage komen overlast voor de omgeving veroorzaken.

Voor de positionering van afvoerkanalen voor rook uit de parkeergarage zijn diverse mogelijkheden denkbaar.

- > Positioneer afvoerkanalen buiten de nabijheid van ramen, deuren en aanzuigopeningen van de luchtbehandelingsinstallatie/ventilatiekanalen en op afstand van locaties van waaruit de brandweer repressief moet optreden.
- > Positioneer de bovenzijde van het afvoerkanaal op een plek waarbij de rook- en verbrandingsproducten geen overlast veroorzaken voor de directe omgeving (laat ze dus niet op marktplaatsen en dergelijke uitkomen).
- > Positioneer afvoerkanalen op voldoende afstand van de vluchtroutes van het gebouw zelf (bijvoorbeeld een boven de parkeergarage gelegen woongebouw), en van de vluchtroutes van omliggende gebouwen.

3.4 Organisatorische maatregelen

3.4.1 Maatregelen specifiek gericht op elektrisch aangedreven voertuigen

- > Overweeg de mogelijkheid om in de parkeergarage geen elektrisch aangedreven voertuigen te laden en/of te parkeren indien de toepassing van maatregelen niet leidt tot het gewenste veiligheidsniveau.

Wanneer in bestaande parkeergarages de toepassing van bouwkundige of installatietechnische maatregelen niet leidt tot het gewenste veiligheidsniveau en een acceptabel restrisico, kan het bevoegd gezag (de gemeente) in het uiterste geval ook overwegen het laden en/of parkeren van elektrisch aangedreven voertuigen in de parkeergarage niet toe te staan (gebruiksbeperking).

- > Zorg voor een snelle opvolging van een brandalarm.

Met het oog op de bestrijdbaarheid van een brand in een elektrisch aangedreven voertuig is naast snelle detectie ook snelle opvolging van een brandalarm van belang. Een mogelijkheid is om de

branddetectie aan te sluiten op een brandmeldinstallatie die een doormelding geeft naar een particuliere alarmcentrale. De particuliere alarmcentrale zorgt voor het verifiëren van de melding en het indien nodig alarmeren van de brandweer.

- > Geef bewoners/gebruikers duidelijke instructies, zodat zij weten hoe zij moeten handelen bij calamiteiten en leg deze instructies vast in een 'Instructie hoe te handelen bij brand'.

Het is noodzakelijk dat gebruikers van de parkeergarage weten hoe zij moeten handelen bij brand. Incidenten met elektrisch aangedreven voertuigen zijn op sommige punten anders dan die met fossiele brandstofvoertuigen. Praktische instructies aan bewoners/gebruikers van parkeergarages kunnen zijn:

- > parkeer de auto bij een storing/foutmelding van het batterijmanagementsysteem niet in de garage maar neem contact op met de dealer/onderhoudsbedrijf
- > houd afstand bij het vrijkomen van gassen/rook
- > stop in geval van calamiteiten middels de noodknop het laadproces
- > alarmeer de brandweer en geef bij het melden van een incident aan de meldkamer van de brandweer door dat het een brand in een elektrisch aangedreven voertuig betreft
- > vang de brandweer op en voorzie haar van de noodzakelijke informatie.

Dergelijke (persoonlijke) instructies zijn praktisch alleen toepasbaar voor niet-publieke parkeergarages. In publieke parkeergarages kan worden gedacht aan een instructie op de gebruikelijke ontruimingsplattegronden die op de muur ter plaatse van de toegangen worden aangebracht.

- > Maak goede afspraken over het veilig gebruik van de laadpalen

De gebruikers van laadpalen zijn een belangrijke factor in het voorkomen van incidenten. Aangeraden wordt dat de aanvrager of toekomstige eigenaar/Vereniging Van Eigenaren (VVE) een gebruiksovereenkomst opstelt voor het veilig gebruik van de laadpalen/-voorzieningen, waarin bijvoorbeeld onderstaande mogelijke regels zijn vastgelegd. Laat gebruikers tekenen dat ze kennis hebben genomen van de regels en hiernaar zullen handelen (in geval er sprake is van een VVE). Met deze afspraken en regels wordt beoogd de faalkans van de combinatie laadpaal/battery pack te verkleinen.

In publieke parkeergarages is een gebruiksovereenkomst en het tekenen daarvan praktisch niet mogelijk. In dat geval kunnen onderstaande mogelijke regels (indien van toepassing) duidelijk zichtbaar in de buurt van de laadvoorziening worden opgehangen (in de vorm van een gebruiksinstructie).

- > Laad alleen op met goedgekeurde en niet beschadigde laadkabels.
- > Voer direct onderhoud uit bij zichtbare defecten of beschadigingen van de laadvoorzieningen.
- > Laad alleen mode 3 of 4 en verbied mode 2.
- > Leg de oplaadkabel zodanig neer dat wordt voorkomen dat:
 - andere voertuigen over de kabel heenrijden
 - een kabel achter een ander voertuig kan blijven haken waardoor deze beschadigd raakt
 - personen struikelen of blijven haken achter de oplaadkabel.
- > Hang de oplaadkabel op in een beugel die naast de laadpaal/-voorziening aanwezig is of berg deze zorgvuldig op in het voertuig.
- > Stop het laadproces voordat de oplaadkabel wordt aan- of losgekoppeld van de laadpaal/-voorziening. Hiermee wordt vonkvorming voorkomen.
- > Plaats geen brandbare spullen naast of boven de laadpalen/-voorzieningen.

- > Controleer de oplaadkabel regelmatig visueel en laat deze bij beschadiging of defect direct herstellen of vervangen.

- > Neem contact op met de verzekeringsmaatschappij om te controleren of laadvoorzieningen mogen worden gerealiseerd op basis van de bestaande polis.

3.5 Repressieve maatregelen

Voorkomen moet worden dat een eventuele brandweerinzet wordt gezien als een soort vervanging van brandpreventieve maatregelen. De brandweer heeft namelijk een inspanningsverplichting en geen resultaatsverplichting. Het resultaat van een repressieve inzet is bovendien per definitie onzeker.

3.5.1 Maatregelen specifiek gericht op elektrisch aangedreven voertuigen

- > Positioneer parkeerplaatsen en laadpalen/-voorzieningen:
 - zoveel mogelijk dicht bij de in- en uitritten van de garage
 - zoveel mogelijk op straatniveau.

Deze maatregel is relevant vanuit het oogpunt van incidentbestrijding omwille van de bereikbaarheid. Op deze manier wordt de kans vergroot dat een brand vanaf de buitenzijde kan worden bestreden of dat een voertuig snel(ler) uit de garage kan worden gehaald.

Bedacht moet echter worden dat deze maatregel slechts beperkt toekomstbestendig is en niet in alle gevallen praktisch uitvoerbaar, want:

- > in de toekomst zal een groot deel van het wagenpark elektrisch aangedreven zijn
 - > bewoners zullen hun auto graag op hun eigen parkeerplaats willen opladen.
- > Zorg dat de laadpalen op een geconcentreerde plaats in de parkeergarage staan en maak dat kenbaar bij de toegang van de parkeergarage.

Om goed en snel te kunnen handelen is herkenning van elektrisch aangedreven voertuigen van essentieel belang. In de praktijk wordt door de brandweer nogal eens gebruik gemaakt van CRS (Crash Recovery System) als de nummerplaat nog zichtbaar is. Het heeft dan de voorkeur dat de brandweer weet dat er elektrisch aangedreven voertuigen kunnen staan in de parkeergarage op een bepaalde vooraf afgesproken plek, en niet willekeurig verspreid. Aandachtspunt daarbij is wel dat een dergelijke clustering van elektrisch aangedreven voertuigen tot een travelling car fire kan leiden. Nader onderzoek is nodig naar de effecten van een dergelijke travelling car fire bij elektrische auto's in vergelijking met een dergelijke brand bij conventionele voertuigen.

- > Zorg voor de herkenbaarheid van een parkeerplaats met een laadpaal/-voorziening.

Voor de snelle herkenbaarheid is het voor hulpdiensten wenselijk dat een parkeerplaats met een laadpaal/-voorziening op de rijbaan duidelijk herkenbaar wordt gemarkeerd. Over het algemeen gebeurt dit al bij de meeste parkeergarages om te voorkomen dat voertuigen die rijden op een fossiele brandstof ongewenst gebruik maken van de desbetreffende parkeerplaatsen.

- > Richt de bluswatervoorziening/waterwinning in op de aanwezigheid van elektrisch aangedreven voertuigen.

Voor het langdurig koelen van elektrisch aangedreven voertuigen is veel bluswater nodig. Hierop wordt in hoofdstuk 4 (brandbestijdingstactieken) verder ingegaan.

- > Maak een plan hoe een elektrisch aangedreven voertuig na blussing vanuit de parkeergarage naar buiten kan worden verplaatst.

Om te voorkomen dat een elektrisch aangedreven voertuig na het blussen opnieuw in de parkeergarage tot ontbranding komt, moet het door de brandweer in samenwerking met de berger uit de parkeergarage worden gehaald. Vervolgens kan het in een speciale container van de berger worden vervoerd, zodat het uiteindelijk in een waterbak kan uitreageren totdat de thermal runaway is gestopt. Betrek in een vroegtijdig stadium van het incident een goed uitgerust bergingsbedrijf bij de hulpverlening.

4 Brandbestrijdingstactieken

In dit hoofdstuk behandelen we de repressieve maatregelen die de gevolgen van een brand in een elektrisch aangedreven voertuig kunnen beperken en eventueel repressief optreden mogelijk maken. Daarbij wordt aangesloten bij de basisprincipes van brandbestrijding (IFV, 2018a).

Ten opzichte van een situatie zonder elektrisch aangedreven voertuigen zijn de risico's en onzekerheden voor de repressieve inzet toegenomen. Bij een brand met een elektrisch aangedreven voertuig zijn er ten opzichte van andere voertuigen aanvullende zaken te noemen waar de brandweer bij de repressieve inzet rekening mee moet houden:

- > de onbekendheid met het mogelijke brandverloop (uitbreiding naar meerdere auto's)
- > een langere brandduur (de battery pack kan opnieuw ontbranden door een thermal runaway)
- > het optreden van explosies
- > het ontstaan van een fakkel
- > de aanwezigheid van specifieke toxische gassen
- > een brand in de battery pack is zeer moeilijk te blussen doordat meermalen herontsteking kan plaatsvinden
- > een brand in de battery pack is in combinatie met een thermal runaway vanwege de gesloten constructie van de battery pack alleen te stoppen door langdurig koelen of onderdompelen
- > de behoefte aan veel water
- > de brandweerinzet kan langdurig zijn
- > de aanwezigheid van hoogspanning (indien op afstand wordt geblust, is de kans op elektrocutie echter verwaarloosbaar).

Voor meer informatie over het optreden van de brandweer bij een ongeval met of brand in een elektrisch voertuig wordt verwezen naar:

- > *Richtlijn voor brandweeroptreden bij elektrische voertuigen* (IFV, 2020c)
- > Zakkaart handelingsperspectief bij E-voertuigen
- > Aandachtskaart bestrijding incident e-voertuig (elektrisch of hybride).

4.1 Basisprincipes van brandbestrijding

Voor brand in een gebouw hanteert de brandweer een aantal basisprincipes en worden de tactiek en doelstellingen van de brandbestrijding geordend in het zogenaamde kwadrantenmodel. Het doel van de bestrijding kan zijn om branduitbreiding te voorkomen of de brandhaard te blussen; dit kan binnen in het gebouw gebeuren of van buitenaf. Deze paragraaf bespreekt de basisprincipes op hoofdlijnen, volgens welke de brandweer de brand preferent van buitenaf zal bestrijden, en alleen een binnenzet zal doen in een kleine ruimte of klein gebouw als een buitenzet niet lukt en indien dit veilig kan gebeuren. Een met rook gevuld gebouw of gevulde ruimte wordt beschouwd als gevaarlijk en zal alleen worden

betreden als dat risico opweegt tegen de winst die te behalen valt. Het beperken van vermogensschade is voor de brandweer geen reden om risico's te nemen. De basisprincipes brandbestrijding zijn bedoeld voor de brandweer en zijn opgenomen in bijlage 2 van deze publicatie. De basisprincipes brandbestrijding luiden kort weergegeven, als volgt (IFV, 2018a):

1. Neem meer **tijd** (stop en denk na).
2. Doe een **buitenverkenning** (doel: brand van buitenaf vinden van buitenaf blussen).
3. Beantwoord **drie vragen** (het antwoord op de vragen bepaalt het type inzet):
 - (1) Is bekend waar de brand zit?
 - (2) Is de brand (van buitenaf) bereikbaar?
 - (3) Is er voldoende koelend vermogen beschikbaar?
4. Bij een **klein gebouw** is onder voorwaarden een offensieve binneninzet in het algemeen veilig mogelijk.
5. Schat het **potentiële brandvermogen** in en neem voldoende koelend vermogen mee.

Deze basisprincipes zijn geen kant-en-klaar-recept voor alle branden. Dat kan ook niet, omdat er veel verschillende brandscenario's zijn. Ze vormen echter wel de ingrediënten om te komen tot een veilige en effectieve inzet.

4.2 Mogelijkheden voor repressie of incidentbestrijding (kwadrantenmodel)

In deze paragraaf wordt de toepassing van de basisprincipes besproken.

4.2.1 Principe 1: Stop en denk na

Meer tijd nemen geeft ruimte om meer te zien en datgene wat we zien juist te interpreteren, om vervolgens een keuze te maken voor een kwadrant uit het kwadrantenmodel (IFV, 2018a).

4.2.2 Principe 2: Doe een buiten verkenning

Als de brandhaard van buitenaf – door een buitenverkenning te doen – kan worden ontdekt, is het niet meer nodig binnendoor op zoek te gaan naar de brand (zoals op dit moment de standaard is). Bij de buitenverkenning kan meer gebruikgemaakt worden van technische middelen, zoals de warmtebeeldcamera.

4.2.3 Principe 3: Beantwoord drie vragen

- > Als de brand van buiten kan worden gevonden (vraag 3.1), van buiten bereikbaar is (vraag 3.2) en er voldoende koelend vermogen is (vraag 3.3), kan een offensieve buiteninzet worden gedaan en kan de brand van buiten worden geblust. Gezien de brandvermogens en brandduur van elektrisch aangedreven voertuigen is een inzet met lage druk nodig. Bij meerdere auto's zijn al snel meerdere stralen lage druk nodig.
- > Als één van de vragen met 'nee' wordt beantwoord is een offensieve buiteninzet in principe niet mogelijk, moeten we kiezen voor een defensieve buiteninzet en wordt het gebouw in principe als verloren beschouwd. Dit geldt in elk geval voor grote gebouwen zoals parkeergarages.

4.2.4 Principe 4: Is offensieve binneninzet veilig mogelijk?

In algemene zin zou onder voorwaarden een offensieve binnenaanval mogelijk kunnen zijn, mits:

- > er sprake is van een relatief klein gebouw (mede omdat in dat geval rookgaskoeling kan worden toegepast en nog effectief is); dat is bij een parkeergarage echter niet het geval (=groot gebouw).
- > deurcontrole kan worden toegepast; dit is bij een parkeergarage praktisch vrijwel niet mogelijk (bijvoorbeeld vanwege een open inrit en de aanwezigheid van openingen in de gevel). Dat betekent dat bij een parkeergarage de zuurstoftoevoer meestal niet kan worden beperkt, wat een extra risico oplevert.
- > de inzetdiepte niet te groot is, zodat de brandweer niet te ver door de rook hoeft (een voorwaarde is dan dat de elektrisch aangedreven voertuigen in de buurt van de brandweertoegang of de inrit staan).
- > er voldoende koelend vermogen beschikbaar is (zie basisprincipe 5).

Kortom, bij toepassing van de bovenstaande basisprincipes op een parkeergarage (met elektrisch aangedreven voertuigen) moet worden geconcludeerd dat een offensieve binneninzet in het algemeen *niet* veilig mogelijk is. Gezien de eerdergenoemde extra elementen die een rol spelen bij de brandbestrijding van elektrisch aangedreven voertuigen, is een offensieve inzet nóg minder aannemelijk. De keuze om eventueel toch een offensieve binneninzet te doen is ter afweging van de lokale bevelvoerder.

Intermezzo

Een offensieve buiteninzet in een parkeergarage is over het algemeen zeer beperkt mogelijk en in (ondergrondse) parkeergarages in de meeste gevallen simpelweg onmogelijk. Dan resteert (naast een defensieve buiteninzet waarbij de parkeergarage uitbrandt) een offensieve binnenaanval, die volgens de basisprincipes over het algemeen niet veilig mogelijk is (zie boven). Mocht de bevelvoerder op basis van een risico-inschatting ter plaatse besluiten om tóch een binnenaanval te doen, dan is het vooral zaak om deze binnenaanval zo snel mogelijk uit te voeren. Om niet te diep de parkeergarage in te hoeven, is het van belang dat elektrisch aangedreven auto's zo dicht mogelijk bij de ingang geparkeerd staan (zie de maatregelen in hoofdstuk 4). Bedacht moet echter worden dat ook hierbij een inzet door rook (zoals ook bij andere gebruiksfuncties) niet uit te sluiten is; ook in geval van een gesprinklerde brand zal er nog sprake zijn van rook en slecht zicht. Er zal vooral een heldere afweging moeten worden gemaakt in hoeverre een veilige en effectieve brandweerinzet (ook met een grotere inzetdiepte) nog mogelijk is in relatie tot de te behalen winst. Dit is ter afweging van de bevelvoerder.

4.2.5 Principe 5: Schat het potentiële brandvermogen in en neem voldoende koelend vermogen mee

Voor het koelend vermogen kunnen de volgende vuistregels worden gehanteerd:

- > Hoge druk: 125 liter per minuut (over het algemeen voldoende voor een brandvermogen van maximaal 2,5 MW). Mocht het brandvermogen van het voertuig hoger zijn, dan kost het blussen met hoge druk veel meer tijd.
- > Lage druk: 450 liter per minuut (over het algemeen voldoende voor een brandvermogen van maximaal 10 MW).

Bij een offensieve binnenaanval gaat het om een snelle actie van de brandweer, waarbij het brandende voertuig dicht bij de inrit of uitgang van de parkeergarage staat en snel bereikbaar is. Internationaal gaat men hierbij uit van twee stralen lage druk waarmee het brandende voertuig snel gekoeld wordt en de vlammen gedoofd worden (CTIF, 2019).

Met twee stralen lage druk is de tijd om te blussen namelijk korter dan met één straal, omdat er meer koelend vermogen is dat direct op zowel de auto als op de energiedrager ingezet kan worden.

Bij een elektrisch aangedreven voertuig moet er echter wel rekening mee gehouden worden dat de battery pack binnen korte tijd opnieuw brandt (thermal runaway), zodat voortdurende koeling nodig blijft. Na blussing moet de brand dus gedurende langere tijd onder controle worden gehouden en moet de temperatuur gemonitord worden.

Om te voorkomen dat een elektrisch aangedreven voertuig na het blussen opnieuw in de parkeergarage tot ontbranding komt, kan het naar buiten slepen ervan door de brandweer in samenwerking met de berger een optie zijn. Daarbij dienen de onderscheiden taken en verantwoordelijkheden van de brandweer en de berger goed te worden afgestemd. Dat zal echter niet in alle gevallen mogelijk zijn. Niet elke berger beschikt bijvoorbeeld over het juiste materieel. Ook het bergen van voertuigen in ondergrondse parkeergarages is, mede vanwege de omstandigheden in de parkeergarage (bijvoorbeeld verrookte parkeergarage, lastige bereikbaarheid), niet in alle gevallen direct mogelijk.

Voor het langdurig koelen van de battery pack is de inzet van een dompelcontainer thans de best beschikbare methode (IFV, 2021b)³⁶. De effectiviteit van een dompelcontainer is afhankelijk van de mate waarin het water de battery pack en de batterijcellen kan bereiken. Het gebruik van een dompelcontainer is relatief eenvoudig, maar brengt wel potentiële risico's en/of complicaties met zich mee. Ter overbrugging tussen het blussen van het voertuig en het moment van berging is een mobiele sprinkler het best beschikbare middel voor de brandweer om de battery pack in de overbruggingstijd te kunnen koelen.

4.3 Blus- en koelwater

Voor het blussen en langdurig koelen van een elektrisch aangedreven voertuig is veel bluswater nodig. Voor wat betreft het blussen kan onderscheid worden gemaakt in:

- > het doven van de vlammen
- > het langdurig koelen van de betrokken battery pack om te voorkomen dat deze door een thermal runaway weer ontbrandt.

Voor het doven van de vlammen is ten opzichte van een conventioneel voertuig niet meer capaciteit of slagkracht nodig (NFPA, 2013). Als een elektrisch voertuig meerdere keren tot herontsteking komt, is er meer bluswater nodig. Voor het langdurig koelen van de battery pack is zeker veel meer water nodig. Hoeveel meer is afhankelijk van de battery pack en de state of charge van de battery pack. Bij een elektrisch aangedreven voertuig kan ervoor worden gekozen om ofwel continue te blussen ofwel steeds bij herontsteking. Continue monitoring van de temperatuur is dus van belang.

Uit onderzoek blijkt dat het gebruikte *bluswater* bij elektrisch aangedreven voertuigen nauwelijks een grotere impact op het milieu heeft dan het bluswater dat wordt gebruikt bij conventionele voertuigen (NFPA, 2013). Dat betekent dat het bluswater via het riool kan

³⁶ Voor het bergen van elektrische aangedreven voertuigen op wegen is een protocol van Stichting Incidentmanagement Nederland voor de verantwoording afhandeling van ongevallen en branden van elektrisch aangedreven voertuigen beschikbaar. Zie voor meer informatie: <https://www.stichtingimn.nl/210511-elektrische-voertuigen-getemd.php>.

worden afgevoerd. De pH van *koelwater* in een dompelbak (dat nog in contact is met een uitgebrande battery pack) kan na verloop van tijd steeds verder oplopen. Het lijkt erop dat hoe langer een batterij gebrand heeft, hoe meer lithiumoxide in het batterijresidu aanwezig is (dit hoeft niet aan de buitenzijde van het residu meetbaar te zijn met pH papier). Verbrande batterij-residuen kunnen na afloop van een brand aan de buitenzijde een neutrale pH tonen. Dat wil echter niet zeggen dat het residu vrij is van zware metalen en andere gevaarlijke stoffen (RIVM, 2019). Met het oog hierop kan koelwater wel een grotere impact op het milieu hebben.

Om het overvloedige bluswater te kunnen afvoeren dient de parkeergarage voorzien te zijn van goede afvoervoorzieningen (zoals overloopinrichting(en) en/of een pomp), die tenminste het aangeboden bluswater kunnen afvoeren. Verontreinigd koelwater uit een dompelbak kan niet zonder meer door het riool worden afgevoerd. Het bergingsbedrijf dient voorzieningen te treffen voor het op de juiste wijze afvoeren van het (verontreinigde) koelwater.

4.4 Overige aandachtspunten/opmerkingen

- > Inzet van robots is nog innovatief, maar zou bij parkeergarages in de toekomst mogelijk succesvol kunnen zijn. Onderzoek op korte termijn naar de (uitbreiding) van de toepassingsmogelijkheden is zeer wenselijk.
- > Een elektrisch aangedreven voertuig afdekken met schuim is vooralsnog geen bruikbare bestrijdingsmogelijkheid, omdat de brand onder de schuimlaag als gevolg van de thermal runaway weer kan opblazen. Laboratoriumonderzoek wijst uit dat battery packs bij een thermal runaway ook in een zuurstofarme omgeving weer kunnen ontbranden.
- > Snelle alarmering van de brandweer bij een brand is van groot belang. Zolang er slechts één auto brandt, is de kans op een succesvolle bestrijding het grootst, omdat er dan nog geen sprake is van een travelling car fire.
- > Een defensieve buiteninzet heeft als gevolg dat er gedurende langere tijd rookoverlast kan optreden voor de omliggende bebouwing en omgeving.
- > De werkingstijd van de sprinklerinstallatie (doorgaans 30-120 minuten, afhankelijk van de toegepaste normen/richtlijnen) is met het oog op de repressieve inzet een relevante beperking. Wanneer op dat moment het voertuig nog niet uit de parkeergarage is gehaald en de omstandigheden in de parkeergarage zodanig zijn dat de brandweer niet naar binnen kan, bestaat de kans dat er meerdere auto's in brand raken en de parkeergarage alsnog afbrandt of uitbrandt.
- > Er zijn geen redenen om te veronderstellen dat bij een brand in een elektrisch aangedreven voertuig aanvullende persoonlijke beschermingsmiddelen voor de brandbestrijding nodig zijn in vergelijking met een brand in een voertuig dat is aangedreven door een conventionele brandstof.
- > Het is van groot belang om met betrokken partijen (ontwikkelaars, architecten, bouwers, adviseurs enzovoort) te delen dat de brandweer bij een brand niet (meer) zondermeer naar binnengaat en als gevolg daarvan de parkeergarage kan uitbranden. De kans op dit scenario wordt groter, naarmate het risico tijdens de inzet toeneemt. Denk hierbij aan (combinaties van) verschillende brandstoffen, grote inzetdiepten, onzekerheid betreffende de brandlocatie et cetera.

5 Beschouwing van aandachtspunten en maatregelen per type parkeergarage

5.1 Inleiding

In dit hoofdstuk beschouwen we de combinatie van preventieve maatregelen uit hoofdstuk 3 en brandbestrijdingstactieken uit hoofdstuk 4 per uitvoeringsvorm van parkeergarages en geven we enkele aandachtspunten per type van parkeergarage. Om dubbelingen in de beschrijving van aandachtspunten en maatregelen te voorkomen, zijn in dit hoofdstuk alleen de meest relevante typen parkeergarages opgenomen. Voor het volledige overzicht verwijzen we naar bijlage 3.

De meeste maatregelen kunnen de brandveiligheid van parkeergarages in algemene zin vergroten. Daar waar de maatregelen/oplossingen specifiek zijn gericht op elektrisch aangedreven voertuigen, wordt dit in de tabellen in bijlage 3 expliciet aangegeven.

5.2 Beschouwing van aandachtspunten en maatregelen per type parkeergarage

5.2.1 Open parkeergarage

Onder een 'open' parkeergarage verstaan we hier een natuurlijk geventileerde parkeergarage die in dit geval met alle zijden in open verbinding staat met de buitenlucht, zoals een parkeergarage met grotendeels open gevels. Door de open gevels kan rook zich direct verspreiden naar de omgeving. Omdat een brand in een elektrisch aangedreven voertuig langer duurt en moeilijker te blussen is, kan er gedurende langere tijd sprake zijn van overlast naar de omgeving.

Vanwege de open gevels heeft een open parkeergarage ten opzichte van een gesloten parkeergarage een aantal gunstige eigenschappen met het oog op een brand in een elektrisch aangedreven voertuig. Afvoer van warmte en rook is mogelijk via de open gevels. Daardoor kan sprake zijn van een beperktere warmteopbouw in de constructie. Hoewel dit mede afhankelijk is van de windkracht/windrichting, lijkt de kans dat de volledige parkeergarage zich vult met rook kleiner. Wel moet worden bedacht dat sterke wind de kans op branduitbreiding tussen de auto's juist kan bevorderen.

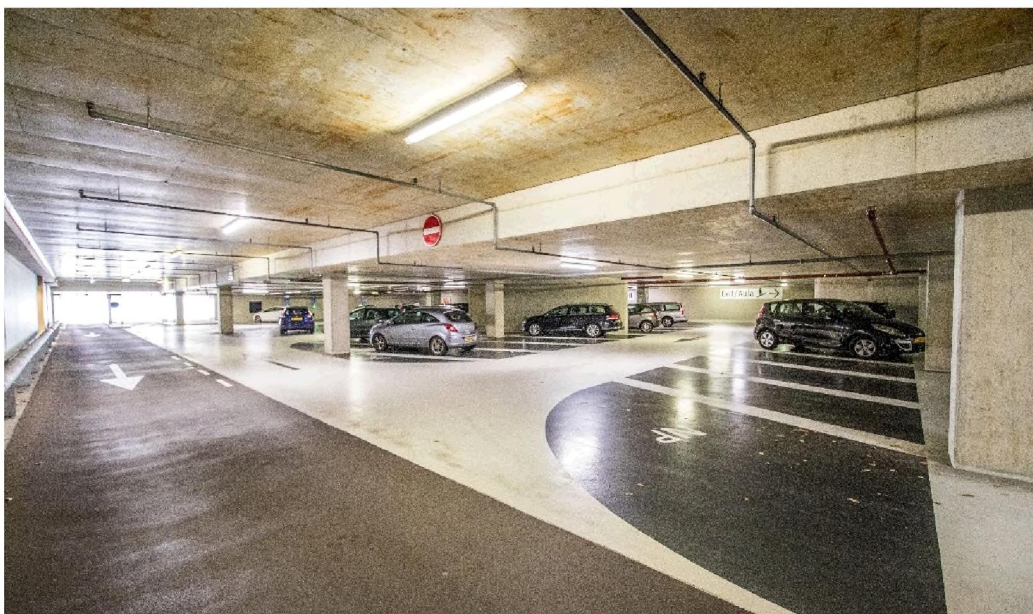


Afbeelding 5.1 Open parkeergarage (bron: [REDACTED], IFV)

Toepassing van een sprinklerinstallatie is minder geschikt voor een open garage vanwege weersinvloeden, terwijl een dergelijke installatie wel de meest voor de hand liggende is om de brand in een voertuig beperkt te houden en om branduitbreiding tussen auto's te voorkomen.

5.2.2 Gesloten parkeergarage

In een gesloten parkeergarage zal over het algemeen sprake zijn van een snellere warmteontwikkeling en warmteopbouw in de constructie. De warmte wordt immers over het algemeen minder snel afgevoerd in vergelijking met een open parkeergarage.



Afbeelding 5.2 Gesloten parkeergarage (bron: [REDACTED], IFV)

Toepassing van een sprinklerinstallatie is de meest voor de hand liggende maatregel om de ontwikkeling van de brand te beperken, alsmede de kans op branduitbreiding tussen de voertuigen en warmteontwikkeling in de constructie. Daarmee worden ook de kans op en mogelijkheden voor bestrijding van een brand in een elektrisch aangedreven voertuig in een parkeergarage vergroot.

Verroking van de parkeergarage en ophoping van (toxische) gassen hebben een ongunstige invloed op de ontvluchtingsmogelijkheden, de plaatsbepaling van de brand (zicht op de brand) en de bestrijdingsmogelijkheden. Omdat de brand in een elektrisch aangedreven voertuig langer duurt, vindt rookverspreiding, zonder ingrijpen van de brandweer, langer plaats. Toepassing van verdringingsventilatie/RWA kan helpen om de kans op een offensieve binneninzet te vergroten.

5.2.3 (Semi)automatisch parkeren

In een automatische parkeergarage zit een volautomatisch parkeersysteem verwerkt. In dit systeem parkeert de gebruiker de auto in een entreeruimte en verlaat deze. De gebruiker scant zijn pasje buiten, waarna de auto geheel automatisch in de parkeergarage geplaatst wordt.³⁷



Afbeelding 5.3 Automatisch parkeren (bron: shutterstock)

Een semi- of halfautomatisch parkeersysteem, maakt het mogelijk om meerdere auto's boven of naast elkaar te parkeren. Hierdoor creëert men meer parkeercapaciteit. Gebruikers parkeren hun auto zelf in en uit. De bestuurder rijdt zijn auto op een platform. Een volgende gebruiker laat het systeem stijgen en parkeert zijn auto daaronder.³⁸

³⁷ www.carparkers.nl.

³⁸ www.carparkers.nl.

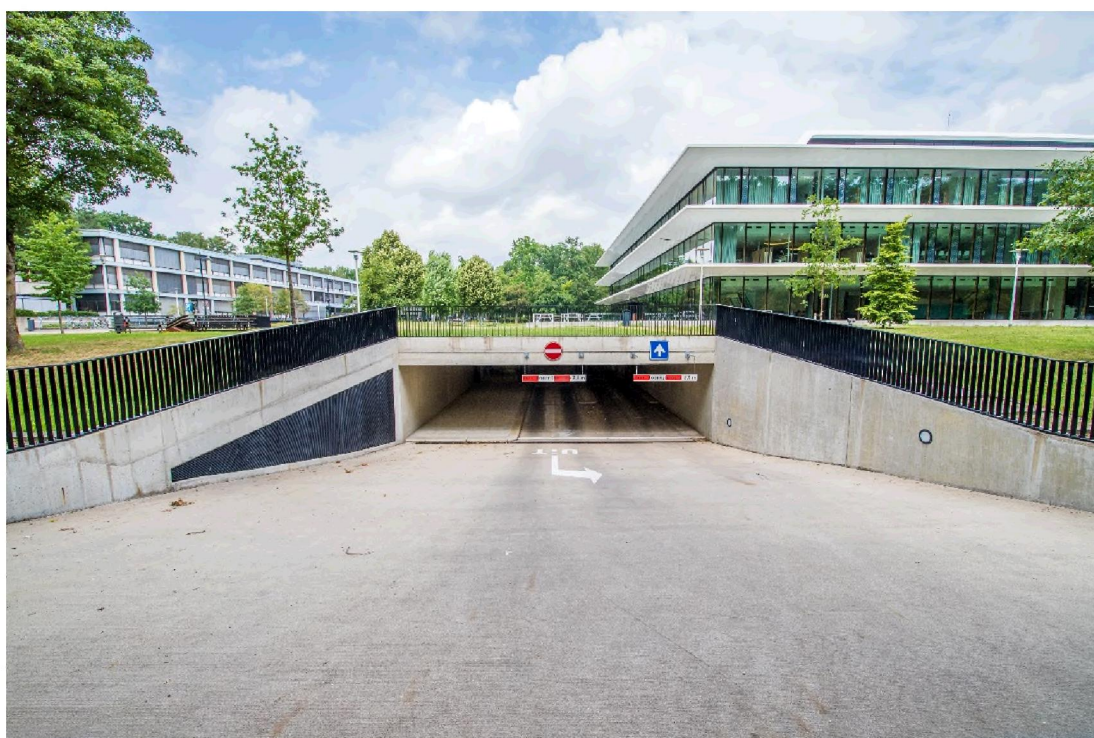
Bij (semi)automatisch parkeren bestaat het risico van een grotere brandomvang, waarbij meerdere voertuigen betrokken raken. Auto's bevinden zich immers veel dicht bij elkaar (boven, onder, naast) met als gevolg een snellere opwarming van constructies en grotere kans op snellere branduitbreiding tussen de voertuigen. Bovendien is er sprake van vuurlast van het parkeersysteem (hydrauliek, olie). Voertuigen zijn geheel of gedeeltelijk aan het zicht onttrokken, waardoor de plaatsbepaling, vindbaarheid en bestrijding van een brand niet goed mogelijk zijn. Voor elektrisch aangedreven voertuigen komen daar ten opzichte van conventionele voertuigen een langere brandduur en moeilijker bestrijdbaarheid van de brand bij. De brandweer kan namelijk zelf niet optreden vanwege val- en klemgevaar.

Bij een defect aan het parkeersysteem kunnen de voertuigen niet naar buiten worden gehaald. Ook het bergen van elektrisch aangedreven voertuigen om vervolgens in een dompelbak te plaatsen is daarmee niet mogelijk. Soortgelijke problemen spelen ook indien hoogteverschillen tussen bouwlagen worden overbrugd met een autolift.

5.2.4 Ondergrondse parkeergarage

Bij een ondergrondse parkeergarage liggen één of meerdere vloeren onder het maaiveld.

De complexe bestrijdbaarheid van een brand in een elektrisch aangedreven voertuig in combinatie met het parkeren en/of laden daarvan in een ondergrondse parkeergarage brengt een aantal moeilijkheden met zich mee. Vanwege opstijgende rook zijn voertuigen in ondergrondse parkeergarages moeilijker vindbaar; bovendien kan de locatiebepaling van het brandende voertuig niet van buitenaf plaatsvinden. De vindbaarheid van voertuigen in ondergrondse parkeergarages kan worden vergroot door een rookvrije toegang tot de ondergronds gelegen lagen van de parkeergarage te realiseren. Denk bijvoorbeeld aan een trappenhuis dat kan worden gebruikt als aanvalsroute voor de brandweer met daarin tevens een aansluitpunt voor een droge blusleiding (ten behoeve van een verkorting van de inzetdiepte). In de praktijk is een dergelijk trappenhuis meestal aanwezig.



Afbeelding 5.4 Ondergrondse parkeergarage (bron: [REDACTED], IFV)

Daarnaast is een elektrisch aangedreven voertuig vanuit een ondergrondse parkeergarage moeilijker te bergen (in verband met zwaartekracht moet het voertuig omhoog worden getakeld of getrokken). Mocht het niet mogelijk zijn om elektrisch aangedreven voertuigen op de begane grond te parkeren, overleg dan met de berger van de voertuigen of speciale voorzieningen voor het bergen van elektrische auto's nodig zijn.

5.2.5 Parkeergarage $\leq 1.000 \text{ m}^2$

Een parkeergarage met een gebruiksoppervlakte $\leq 1.000 \text{ m}^2$ komt voor in allerlei verschijningsvormen. Voor parkeergarages met een gebruiksoppervlakte $\leq 1.000 \text{ m}^2$ gelden rechtstreeks de prestatie-eisen van Bouwbesluit 2012. Parkeergarages met een gebruiksoppervlakte $\leq 1.000 \text{ m}^2$ worden in de praktijk meestal ontworpen op basis van de minimum prestatie-eisen van Bouwbesluit 2012 en hebben daarom doorgaans geen aanvullende installaties die een gunstige invloed op de effecten van brand in een elektrisch aangedreven voertuig hebben (zoals een sprinkler om de brandomvang en branduitbreiding te beperken en de kansen op een succesvolle bestrijding van de brand te vergroten). Als gevolg van de kleinere oppervlakte ten opzichte van parkeergarages van meer dan 1.000 m^2 , kunnen er daarnaast sneller brandfysisch ongunstiger situaties ontstaan door de afwezigheid van specifieke voorzieningen en het beperktere ruimtevolumen.

Noot: bij de beoordeling van de aanvraag van een omgevingsvergunning voor een parkeergarage die rechtstreeks aan de prestatie-eisen voldoet, is het gebruik van de parkeergarage (dus: of er wel of geen elektrisch aangedreven voertuigen worden geparkeerd en geladen) geen beoordelingscriterium. Mede daardoor is er geen mogelijkheid tot het stellen van aanvullende eisen op de prestatie-eisen uit het Bouwbesluit 2012.

5.2.6 Parkeergarages $> 1.000 \text{ m}^2$

Een parkeergarage van meer dan 1.000 m^2 voldoet niet rechtstreeks aan de prestatie-eisen van Bouwbesluit 2012. Hierom moet de aanvrager van een omgevingsvergunning voor het bouwen ten genoegen van het bevoegd gezag aannemelijk maken met welke brandveiligheidsvoorzieningen er sprake is van een gelijkwaardige mate van brandveiligheid als is beoogd met de voorschriften van het Bouwbesluit 2012. De afwijkende risico's waarvan bij het parkeren of stallen van elektrisch aangedreven voertuigen sprake is ten opzichte van conventionele voertuigen, kunnen daarin worden meegenomen. Het bevoegd gezag heeft bovendien enige beoordelingsruimte bij de acceptatie van een gelijkwaardige oplossing en daarmee meer sturingsmogelijkheid op de te treffen brandveiligheidsvoorzieningen.

In de praktijk treffen we in parkeergarages van meer dan 1.000 m^2 over het algemeen voorzieningen aan ter beperking van branduitbreiding (bijvoorbeeld een sprinklerinstallatie), en/of voorzieningen die de kans op een binneninzet kunnen vergroten (zoals verdringingsventilatie/RWA).

5.2.7 Meerlaagse parkeergarage

Een meerlaagse parkeergarage heeft meerdere verdiepingen waarop auto's kunnen worden geparkeerd. Brand kan zich naar meerdere bouwlagen uitbreiden. Ten opzichte van een éénlaagse parkeergarage maakt dat de plaatsbepaling van een brandend voertuig complexer. Daarnaast is de repressieve inzet in een meerlaagse parkeergarage complexer (trappenhuis zoeken, slangen meenemen, bouwlagen overbruggen, enzovoort). Het bergen

van een elektrisch aangedreven voertuig vanaf een verdieping is evenmin eenvoudig. Positioneer elektrisch aangedreven voertuigen daarom bij voorkeur op de begane grond met het oog op de bereikbaarheid en bestrijdbaarheid van een brand.

5.2.8 Parkeergarage met belendende bebouwing

Vaak is een parkeergarage geïntegreerd met andere gebouwen. Denk bijvoorbeeld aan een woongebouw dat boven op de parkeergarage staat, of andere gebouwen die in de directe omgeving bij de parkeergarage staan. Een uitbrandscenario is in dat geval minder snel een optie in verband met het risico op schade of het bezwijken van constructie-onderdelen en de veiligheid van personen die zich bijvoorbeeld in een bovenliggend gebouw bevinden. Dit vraagt extra aandacht voor de brandwerendheid.

Omdat de brandduur in een parkeergarage met elektrisch aangedreven voertuigen langer is, zijn ook de tijdsduur van het incident en de duur van de overlast op de omgeving langer. Dit heeft in bebouwd gebied meer nadelige gevolgen dan in onbebouwd gebied.

5.2.9 Bestaande parkeergarages

De verschillen tussen bestaande en nieuwe parkeergarages liggen vooral in de bekendheid bij betrokken partijen zoals het bevoegd gezag met het toegepaste voorzieningenniveau. Van een nieuwe parkeergarage is in de praktijk veelal redelijk complete documentatie over de toegepaste voorzieningen bekend, bijvoorbeeld in de vorm van een omgevingsvergunning voor het bouwen. Voor bestaande parkeergarages ontbreken dergelijke stukken vaak en is niet altijd te achterhalen welke brandveiligheidsvoorzieningen zijn toegepast en op welk brandveiligheidsconcept dergelijke voorzieningen zijn gebaseerd.

De sturingsmogelijkheden om als bevoegd gezag bij bestaande parkeergarages een hoger brandveiligheidsniveau af te dwingen zijn doorgaans beperkt. Bovendien moet het voorschrijven van een hoger brandveiligheidsniveau (artikel 13 Woningwet) gepaard gaan met een specifieke motivering door het bevoegd gezag. De impact van het laden en parkeren van elektrisch aangedreven voertuigen in een parkeergarage zal per geval moeten worden beoordeeld en de eventueel toe te passen maatregelen zijn afhankelijk van de specifieke situatie en het reeds aanwezige voorzieningenniveau, en daarmee maatwerk.

6 Kennishiaten en ontwikkelingen

Deze publicatie is geschreven op basis van de beschikbare informatie uit (inter)nationaal onderzoek. Zoals uit de vorige hoofdstukken is gebleken, is voor diverse onderwerpen nader onderzoek nodig. Daarnaast is de technologie in elektrisch aangedreven voertuigen en laadpalen nog volop in ontwikkeling. Op een aantal van die ontwikkelingen hebben we eerder in deze publicatie reeds gewezen.

In dit hoofdstuk vatten we in paragraaf 6.1 de behoefte aan nader onderzoek samen, en in paragraaf 6.2 behandelen we enkele toekomstige ontwikkelingen op het gebied van elektrisch aangedreven voertuigen die invloed kunnen hebben op de brandveiligheid in parkeergarages.

6.1 Kennishiaten

6.1.1 Algemeen

Allereerst is het van groot belang om de ontwikkelingen van elektrisch aangedreven voertuigen voortdurend te blijven volgen. Uit hoofdstuk 1 van deze publicatie is bijvoorbeeld gebleken dat het brandvermogen evenredig toeneemt met het elektrisch vermogen. Dit betekent dat wijzigingen in de samenstelling van de battery packs van elektrisch aangedreven voertuigen en het laden daarvan tot wijzigingen in deze publicatie kunnen leiden.

6.1.2 Bouwregelgeving en normering

Nader onderzoek is nodig om te bepalen of als gevolg van de beschreven risico's van elektrisch aangedreven voertuigen aanpassing van de voorschriften van Bouwbesluit 2012³⁹ nodig is. Dit geldt overigens niet alleen voor elektrische voertuigen, maar voor moderne voertuigen in het algemeen. Bovendien is er behoefte aan een norm voor het beoordelen van de brandveiligheid in parkeergarages, met daarin uitgangspunten (zoals brandvermogens) die zijn gebaseerd op de meest recente inzichten en waarin onderscheid wordt gemaakt tussen verschillende typen brandstof en elektrische aandrijving. Uit een studie van TNO (2020) blijkt na een eerste verkenning dat er internationaal weinig tot geen specifieke regelgeving voor elektrisch aangedreven voertuigen in parkeergarages bestaat.

6.1.3 Kans op brand

Nader onderzoek is nodig om meer inzicht te krijgen in de kans op brand in een elektrisch aangedreven voertuig. Betrouwbare datasets over het ontstaan van en de kans op branden in elektrisch aangedreven voertuigen ontbreken. Ditzelfde geldt voor het laden, ook in relatie met het laadproces. Onbekend is bijvoorbeeld nog in hoeverre productiefouten en veroudering een rol spelen bij de kans op brand. Vanuit het Instituut Fysieke Veiligheid is

³⁹ Na 1 juli 2022: Besluit bouwwerken leefomgeving (Bbl).

inmiddels aangevangen met het bijhouden en registreren van de branden en ongevallen met elektrische voertuigen. Met deze data kan, in potentie, inzicht worden vergaard in de kans op brand van een batterijpakket als mede in de plaatsgevonden brandweerinzetten.

6.1.4 Thermal runaway

Nader onderzoek naar het exacte proces van thermal runaway in relatie tot het brandverloop is van belang om tot innovatieve oplossingen te komen voor de beperking en bestrijding van branden. Er is namelijk verschil in het proces van thermal runaway en het brandproces. Beide kunnen op een individuele manier worden bestreden als precies inzichtelijk gemaakt is hoe zij verlopen. Eveneens is nader onderzoek nodig naar de omstandigheden waaronder een battery pack weer tot ontbranding kan komen. Laboratoriumonderzoek wijst er namelijk op dat battery packs bij een thermal runaway ook in een zuurstofarme omgeving weer kunnen ontbranden.

6.1.5 Thermische belasting op de constructie

Nader onderzoek is nodig om de effecten van een brand in een elektrisch aangedreven voertuig op de constructie van de parkeergarage te bepalen, met het oog op de verschillen in het brandverloop en de vlamuittreding (fakkels). Dit geldt overigens ook voor voertuigen die door alternatieve brandstoffen worden aangedreven, zoals waterstof of CNG.

6.1.6 Effecten travelling car fire bij elektrisch aangedreven voertuigen

Nader onderzoek is nodig naar de effecten van een travelling car fire tussen elektrisch aangedreven voertuigen ten opzichte van een vergelijkbare brand van conventionele voertuigen, en naar de impact daarvan op bijvoorbeeld de constructie van een gebouw.

6.1.7 Detectiemiddelen

Ook over detectiemiddelen zou nog een en ander uitgezocht kunnen worden, bijvoorbeeld om de vraag te beantwoorden met welke detectiesystemen (puntdetectie, lintdetectie), op basis van welke indicatoren (rook, CO, hitte, HF) en onder welke omstandigheden het meest adequaat een indicatie kan verkregen worden van een incident met een elektrisch aangedreven voertuig.

6.1.8 Brandbeheerssysteem

Nader onderzoek is nodig om te bepalen of een sprinkler- of watermistinstallatie ook geschikt is om een beginnende brand van een elektrisch aangedreven voertuig onder controle te houden, of dat daarvoor altijd een aanvullende brandweerinzet noodzakelijk is. Meer specifiek kan bekeken worden of een sprinklerinstallatie in de vloer van het parkeerdek tot een effectieve koeling van de battery pack kan leiden. Bovendien is verder onderzoek nodig om te bepalen welk type brandbeheerssysteem (zoals een sprinkler- of watermistinstallatie) het beste past bij een brandscenario met elektrisch aangedreven voertuigen. De vraag is namelijk of alle brandbeheerssystemen een brand in een elektrisch aangedreven voertuig onder controle kunnen houden.

6.1.9 Inzet van robots

Inzet van robots is nog innovatief, maar zou bij parkeergarages in de toekomst mogelijk succesvol kunnen zijn. Onderzoek op korte termijn naar de (uitbreiding) van de toepassingsmogelijkheden is zeer wenselijk.

6.1.10 Koelen van de battery pack

Nader onderzoek is nodig naar het effect van het van buitenaf koelen van de battery pack in een elektrisch aangedreven voertuig en de noodzakelijke tijdsduur daarvan.

6.1.11 Bergen van een elektrisch aangedreven voertuig na een brand

Nader onderzoek is nodig naar de wijze waarop een elektrisch aangedreven voertuig na een brand in een parkeergarage het meest optimaal kan worden geborgen en welk materieel daarvoor nodig is. Uit de praktijk blijkt dat niet alle bergers daarvoor de juiste middelen hebben. Tevens kan de afstemming van de taken en verantwoordelijkheden van de brandweer (zoals voorkomen van het herontbranden tijdens het bergen) en de berger (het verwijderen van de auto uit de garage) onder de loep worden gehouden.

6.2 Toekomstige ontwikkelingen

6.2.1 Toenemende veiligheid battery packs

De verwachting is dat veiligheid van battery packs steeds verder wordt verbeterd en faalkansen verder terug worden gebracht (Battery University, 2014). Bovendien verwachten we dat in de toekomst nog andere typen battery packs worden ontwikkeld.

6.2.2 Blussysteem battery pack

Er wordt momenteel onderzoek gedaan naar de mogelijkheden om bij een brand water in de battery pack te krijgen. Hieronder staan drie voorbeelden.

- > Als een sprinkler in de battery pack wordt aangebracht, kan deze de cellen die te maken hebben met een thermal runaway beter koelen, en deze mogelijk ook daadwerkelijk blussen.
- > Renault heeft experimenten uitgevoerd met een soort brandslang aansluiting ('pijpje in de mantel van de battery pack'), waarop de brandweer kan aansluiten en zo rechtstreeks water in de battery pack kan inbrengen.
- > Dekra heeft onderzoek gedaan naar de toepassing van een zogenaamde 'fire lens'. Daarbij is middels een markering op de battery pack aangegeven waar de stalen mantel van de battery pack kan worden ingeslagen, zodat bluswater rechtstreeks in de battery pack kan worden ingebracht.

6.2.3 Informatietechnologie

De informatietechnologie ontwikkelt zich snel. Systemen zoals e-call en kentekenherkenning zouden informatie kunnen verschaffen aan beheerders van parkeergarages en hulpdiensten over de aard van de brandende auto, alsmede over de staat en de locatie daarvan. Hetzelfde geldt ook voor informatie afkomstig uit de laadinfrastructuur. Dergelijke informatie zou direct ten dienste kunnen worden gesteld van de (informatie-gestuurde) repressieve dienst.

Literatuur

Air Resources Board. (2015). *Technology Assessment: Medium- and Heavy-Duty Battery Electric Trucks and Buses (Draft)*. Sacramento, CA: California Environmental Protection Agency (State of California).

Adviescommissie toepassing en gelijkwaardigheid bouwvoorschriften (2016). Casus 1410-1: [*Sprinklerinstallatie in plaats van brandmeldinstallatie*](#). Rotterdam: ATGB.

Battery University (2014). *Safety of Lithium-ion Batteries*. Cadex Electronics Inc. Geraadpleegd van: http://batteryuniversity.com/learn/article/safety_of_lithium_ion_batteries.

Battery University (2016). *Safety Concerns with Li-ion*. Cadex Electronics Inc. Geraadpleegd van: http://batteryuniversity.com/learn/article/safety_concerns_with_li_ion.

Berghuis, M.I. en Overveld, M. van (2019). *Handboek Bouwbesluit 2012. Editie 2019-2020*. Alphen a/d Rijn en Doetinchem: Vakmedianet BV.

Bisschop, R., Willstrand, O. & Rosengren, M. *Handling Lithium-Ion Batteries in Electric Vehicles: Preventing and Recovering from Hazardous Events*. *Fire Technol* **56**, 2671–2694 (2020). <https://doi.org/10.1007/s10694-020-01038-1>

Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties (2012). [*Bouwbesluit 2012. Omgevingsvergunning en melding brandveilig gebruik*](#).

Colella et al. (2016). *Electric Vehicle Fires. Proceedings from the Seventh International Symposium on Tunnel Safety and Security* (pp. 629 – 636). Montreal, Canada: Exponent.

CTIF (2019). *Fire service operational handbook, emergency response on vehicles*.

DGMR (2015). *Onderzoek richtlijn brandveiligheid parkeergarages*. DMGR rapportnr. F.2013.0591.01.R002 d.d. 20 november 2015.

DNV-GL (2019). [*Technical Reference for Li-ion Battery Explosion Risk and Fire Suppression*](#), Rev 4. Høvik: DNV-GL.

Essl, C., Golubkov, A. W., & Fuchs, A. (2021). Influence of Aging on the Failing Behavior of Automotive Lithium-Ion Batteries. *Batteries*, 7(2), 23.

Huijzer, J. (2013). *Gelijkwaardigheid door een juridische bril (2)*. *Bouwregels in de Praktijk*, juni 2013, p. 24-27.

Instituut Fysieke Veiligheid (2018a). [*De hernieuwde kijk op brandbestrijding*](#). Arnhem: IFV.

Instituut Fysieke Veiligheid (2020a). *Handelingsperspectief voor veiligheidsadviseurs van veiligheidsregio's omtrent de advisering over brandveiligheid van elektrische voertuigen en laadvoorzieningen in parkeergarages*. Arnhem: IFV.

Instituut Fysieke Veiligheid (2020b). [Veiligheidsaspecten van het laadproces van elektrische bussen in de openbare ruimte in de IJssel-Vecht concessie](#). Arnhem: IFV.

Instituut Fysieke Veiligheid (2020c). [Richtlijn voor brandweeroptreden bij elektrische voertuigen](#). Arnhem: IFV.

Instituut Fysieke Veiligheid (2021a). *Waterstofauto's in parkeergarages – Deel 1*. Arnhem: IFV.

Instituut Fysieke Veiligheid (2021b). *Een beoordeling van de dompelcontainer en mogelijke alternatieven*. Arnhem: IFV.

Instituut Fysieke Veiligheid (2021c). *Onderzoek sprinklerinstallatie parkeergarage*. Arnhem: IFV.

Lam C, MacNeil D, Kroeker R, et al (2016). *Full-scale fire testing of electric and internal combustion engine vehicles*. In: 4th International conference on fire in vehicle, Baltimore.

Larsson, F., Andersson, P., Blomqvist, P et al. (2017). Toxic fluoride gas emissions from lithium-ion battery fires. *Scientific Reports* 7(10018).

Lecocq, A., Bertana, M., Truchot, B., en Marlair, G. (2014). Comparison of the fire consequences of an electric vehicle and an internal combustion engine vehicle. 2. *International Conference on Fires In Vehicles - FIVE 2012, Sep 2012, Chicago, United States*. pp.183-194.

Bullis, K. (2013) *Are Electric Vehicles a Fire Hazard?*
<https://www.technologyreview.com/2013/11/26/175306/are-electric-vehicles-a-fire-hazard/>,
In Massachusetts Institute of Technology Review

Fire Protection Research Foundation (2011). [Lithium-Ion Batteries Hazard and Use Assessment](#). Quincy, MA (USA): The Fire Protection Research Foundation.

NFPA (2013). [Best Practices for Emergency Response to Incidents Involving Electric Vehicles Battery Hazards: A Report on Full-Scale Testing Results](#). Quincy, MA (USA): The Fire Protection Research Foundation.

Peng, Y. L. Yang, J. Xiaoyu, B. Liao, K. Ye, L. Lun, B. Cao, en Y. Ni (2020). A comprehensive investigation on the thermal and toxic hazards of large format lithium-ion batteries with LiFePO₄ cathode. *Journal of hazardous materials* 381, pp. 1-11.

RISE (2018). [Lion Fire Extinguishment and mitigation of fires in li-ion batteries at sea](#). Borås: RISE Research Institutes of Sweden.

- RISE (2019a). *Fire Safety of Lithium-Ion Batteries in Road Vehicles*. Borås: RISE Research Institutes of Sweden.
- RISE (2019b). *Fire suppression tests for vehicle battery pack*. Borås: RISE Research Institutes of Sweden.
- RISE (2019c). *Charging of electric cars in parking garages*. Borås: RISE Research Institutes of Sweden.
- RISE (2020). [*Toxic gases from fire in electric vehicles*](#). Borås: RISE Research Institutes of Sweden.
- RIVM (2019). [*Detectiemiddelen b.j brand met li-ion batterijen*](#). Bilthoven: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu.
- RIVM (2021). [*Risico's van rook door branden van Li-ion batterijen*](#). Bilthoven: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu.
- RVO (2019). [*Laden van elektrische voertuigen: definities en toelichting*](#). Versie: April 2019. Utrecht: Rijksdienst voor Ondernemend Nederland.
- Sun, P., Bisschop, R., Niu, H., en Huang, X. (2020). [*A Review of Battery Fires in Electric Vehicles*](#). *Fire Technology* 56, pp 1361-1410.
- Spearpoint, M., en M.Z.M. Tohir (2013). [*Distribution analysis of the fire severity characteristics of single passenger road vehicles using heat release rate data*](#). *Fire science Review* 2(5), pp 1-26.
- TNO (2020). *Risico's in parkeergarages ten gevolge van elektrisch en waterstof aangedreven personenauto's – Internationale Inventarisatie*. Delft: TNO.
- TWV (2015). Veroudering en levenscyclus van lithium-ijzerfosfaatbatterijen. *Tijdschrift Vervoerswetenschap* 51(2).
- UL (2013). *Lithium-ION Batteries, aging effects on lithium-ion batteries*. Journal Issue II, [ul.com/newscience](#).
- Van der Graaf, P.J. en Pothuis, J.W. (2018). *Planologie en bouwregelgeving steeds meer vervlochten*. Bouwkwiteit in de Praktijk, maart 2018.
- VROM (2008). [*Brandveiligheid: de juridische werking van de brandveiligheidsvoorschriften ex Woningwet*](#).
- Watanabe, N. et. al. (2012). *Comparison of fire behaviors of an electric-battery-powered vehicle and gasoline-powered vehicle in a real-scale fire test*. National Research Institute of Police Science, Japan. Presented at Second International Conference on Fires in Vehicles, September 27-28, 2012, Chicago, IL.

Wingfors, H., Fredman, A., Thunell, M. (2019). [*Brandskyddskläders skyddskapacitet- materialtester med kemikalier som bildas vid bränder och termisk rusning i Li-jon batterier i e-fordon: studie*](#). Karlstad: MSB.

Bijlage 1 Overzicht veiligheidsnormen

Tabel B1.1 geeft een overzicht van een select aantal (veiligheids)normen voor de voertuigen inclusief de batterijen.

Tabel B1.1 (Veiligheids)normen voor de voertuigen inclusief de batterijen

Norm	Onderwerp
ECE-R100	Veiligheid elektrisch materiaal inclusief de batterijen
ECE-R10	Elektromagnetische compatibiliteit

In de Regeling voertuigen, bijlage IV, annex 4, worden eisen gesteld aan de bekabeling in voertuigen, aan de voorziening voor de uitschakeling van hoogspanning en de plaatsing van de battery pack. Vanaf 2011 moeten kabels met een hoog voltage een oranje kleur hebben. Kabels met een hoog voltage van vóór dit jaartal kunnen ook een andere kleur hebben.

Tabel B1.2 geeft (veiligheids)normen voor de verdeelstations en laadpalen.

Tabel B1.2 (Veiligheids)normen voor de verdeelstations en laadpalen

Norm	Onderwerp
NEN 1010	Veiligheidsbepalingen voor laagspanningsinstallaties
IEC 61851-1	Basis-standaard voor het laden
IEC 61851-22	AC-oplaadstation
IEC 61851-23	Dc-oplaadstation
IEC-62752 en IEC-62893	Oplaadkabel
IEC-61851-21-2	Standaard die ziet op 'offboard' chargers voor mode 1 t/m 4, zowel AC als DC.
IEC 62196	Oplaadconnectors
IEC 60364-7-722	Aansluiting laadinfrastructuur
ISO 15118	Communicatie tussen voertuig en laadvoorziening
ISO 17409	Voorwaarden verbinding met de stroomvoorziening

Figuur B1.3 visualiseert de veiligheidsnormering zoals die thans bestaat voor het laden van voertuigen. Deze figuur bestaat uit twee delen: de laadinfrastructuur (linksboven) en het voertuig (rechtsonder)

(Links)boven zijn de bestaande richtlijnen opgesomd voor (onderdelen van) de *laadvoorzieningen*. Rechtsonder zijn de bestaande richtlijnen voor (onderdelen van) de energieopslag in de *voertuigen* en de communicatie-*hardware* weergegeven.

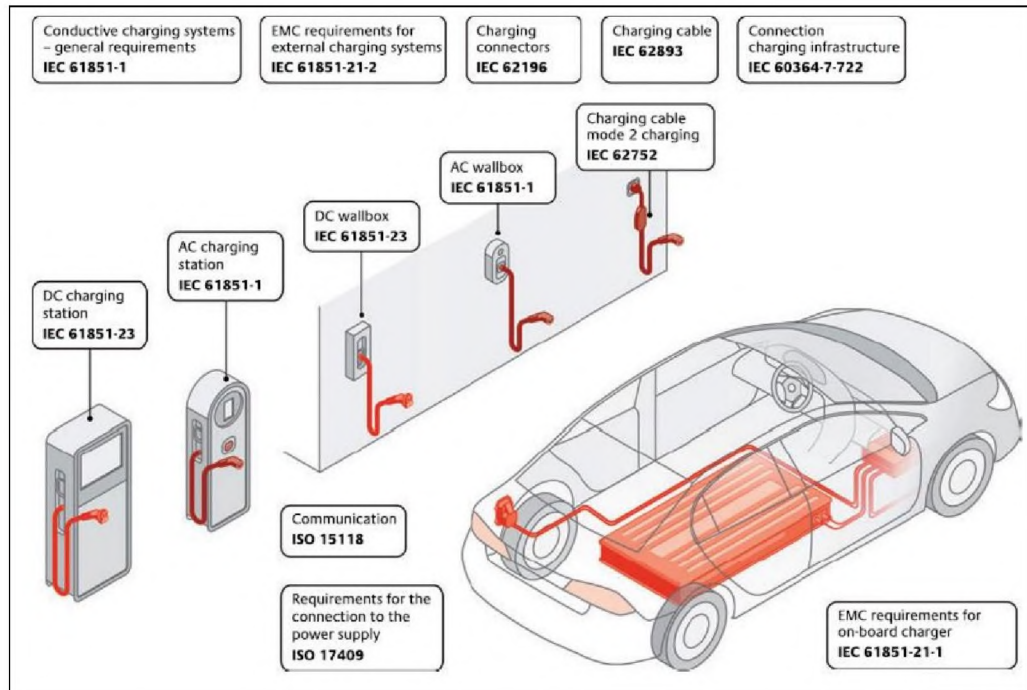


Figure 1: Standards for the wired charging of electric vehicles (Nationale Plattform Elektromobilität 2017)

Figuur B1.3 Veiligheidsnormering voor het laden van elektrische voertuigen

Bijlage 2 Basisprincipes van brandbestrijding

De basisprincipes brandbestrijding kennen de volgende stappen:

1. Neem meer **tijd** (stop en denk na).
2. Doe een **buitenverkenning** met als doel de brandruimte van buiten te vinden en de brand van buiten te blussen.
3. Daarbij worden **drie vragen** beantwoord:
 1. Is bekend waar de brand zit?
 2. Is de brand (van buitenaf) bereikbaar?
 3. Is er voldoende koelend vermogen?

Als de brand van buiten kan worden gevonden, van buiten bereikbaar is en er voldoende koelend vermogen is, dan kan de brand van buiten worden geblust. Als dat niet mogelijk is, dan is het gebouw in principe verloren en moeten we defensief inzetten. Dit geldt in elk geval voor grote gebouwen.

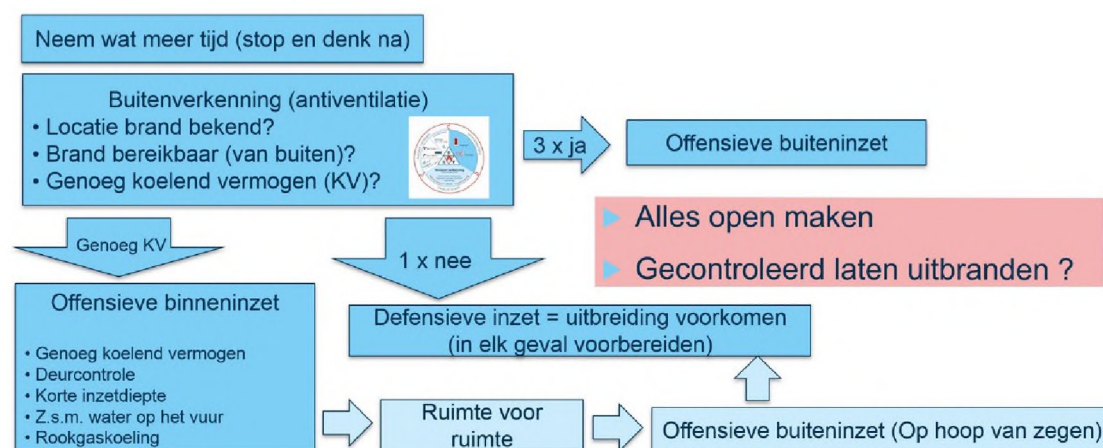
4. Als het gaat om een **klein gebouw** zoals een woning, of een gebouw met kleine ruimten, en er voldoende koelend vermogen is, dan is een offensieve binneninzet in het algemeen veilig mogelijk onder voorwaarden. In dat geval: denk in termen van de RSTV-branddriehoek.

- > Pas deurcontrole toe.
- > Pas indien mogelijk of nodig antiventilatie toe (houd het gebouw dicht).
- > Pas bij een uitslaande brand indien mogelijk een 'transitional attack' toe.
- > Breng zo snel mogelijk water op het vuur.
- > Denk aan de beperkingen van rookgaskoeling: kortste afstand naar de brand.

5. Schat het **potentiële brandvermogen** in en neem voldoende koelend vermogen mee.

Deze basisprincipes zijn geen kant-en-klaar-recept voor alle branden. Dat kan ook niet, omdat er veel verschillende brandscenario's zijn, maar ze vormen wel de ingrediënten om te komen tot een veilige en effectieve inzet.

In de onderstaande afbeelding wordt gevisualiseerd hoe het toepassen van de basisprincipes leidt tot de keuze voor een inzetkwadrant uit het kwadrantenmodel (zie paragraaf 4.1).



Afbeelding B2.1 De basisprincipes gecombineerd met het kwadrantenmodel

Bijlage 3 Vergelijking van typen parkeergarages, maatregelen en aandachtspunten

In deze bijlage zetten we een aantal typen parkeergarages tegenover elkaar (bijvoorbeeld: 'open' of 'gesloten' garage) en vergelijken we in tabelvorm de verschillen. In de tabellen wordt een aantal thema's behandeld (bijvoorbeeld 'brandontwikkeling') die relevant zijn voor een bepaald type parkeergarage. Deze behandelde thema's zijn niet voor elk type parkeergarage hetzelfde. Verder noemen we daar waar relevant enkele maatregelen en aandachtspunten.

De meeste maatregelen/oplossingen kunnen de brandveiligheid van parkeergarages in algemene zin vergroten. Daar waar de maatregelen/oplossingen specifiek zijn gericht op elektrisch aangedreven voertuigen, wordt dit in de tabellen expliciet aangegeven.

Open of gesloten parkeergarage

Algemene omschrijving van de verschillen tussen de typen garages

Onder een 'open' parkeergarage verstaan we hier een parkeergarage die met alle zijden in open verbinding staat met de buitenlucht. Bij de verdere uitwerking gaan we uit van een parkeergarage met volledig open gevels.

Kenmerkende verschillen, problemen, maatregelen en oplossingen

In tabel B3.1 op de volgende pagina staan diverse zaken uitgewerkt.

- > Een aantal kenmerkende verschillen tussen open -en gesloten parkeergarages. Kolom 1 geeft het kenmerk weer (bijvoorbeeld: 'invloed van het weertype op de garage').
- > Kolom 2 en 3 van de tabel bevatten een omschrijving van de vergelijking tussen een open en een gesloten garage.
- > In de tabel is een indeling gemaakt in drie thema's:
 - beïnvloeding binnen-buiten en buiten-binnen
 - brandontwikkeling
 - rookontwikkeling.

De tabel sluit af met een aantal aandachtspunten.

Tabel B3.1 Open en gesloten parkeergarages

	Open garage	Gesloten garage
Beïnvloeding binnen-buiten/buiten-binnen		
Invloed van weertypes op de garage	Weer en wind hebben meer invloed op brand- en rookontwikkeling.	Weer en wind hebben nauwelijks invloed.
Invloed van de garage op de omgeving	Verspreiding van rook vanuit de parkeergarage naar de omgeving is groter.	Beperkte rookverspreiding richting de omgeving; de rook kan blijven hangen.
Warmteopbouw en branduitbreiding		
Warmteopbouw in de constructie	Kleiner (warmte kan worden afgevoerd via gevels)	Snellere warmteontwikkeling/snellere warmteopbouw in constructie (warmte wordt niet of minder snel afgevoerd).
Kans op branduitbreiding tussen voertuigen	Doorgaans kleiner (warmte kan worden afgevoerd via gevelopeningen). Echter: bij ongunstige windrichting/windkracht mogelijk ook sneller.	Doorgaans snellere warmteontwikkeling in besloten ruimte: eerder kans op branduitbreiding tussen voertuigen.
Rookontwikkeling		
Verroking van de garage	Beperkt: rook kan via gevels worden afgevoerd.	Gesloten garage kan snel verroken; minder zicht op de brand; meer ophoping van (toxische) gassen.
Zicht op de brand bij aankomst brandweer	Afhankelijk van de windrichting / windkracht een iets grotere kans op: > Beter zicht op de brand > Grotere kans op goede plaatsbepaling waar de brand is begonnen > Betere repressieve inzetmogelijkheden.	De rook kan niet weg, dus slecht/geen zicht op de brand
Aandachtspunten:		
> Toepassing van detectie met rookmelders in een open parkeergarage is minder effectief ten opzichte van een gesloten parkeergarage. De kans bestaat dat de rook wordt weggeblazen door de wind waardoor de rookmelders minder snel rook detecteren. Detectie op basis van warmte (bijvoorbeeld lintdetectie) is een beter alternatief. > Toepassing van een sprinklerinstallatie heeft invloed op de ontwikkeling van de brand, beperkt de kans op branduitbreiding tussen de voertuigen en vertraagt daarmee ook de warmteopbouw in de constructie. > Toepassing van een watermistinstallatie in een open garage is minder effectief in verband met weers- en windinvloeden die de werking van de watermist beperken. > Ten behoeve van de voorzieningenanalyse met betrekking tot de repressieve inzet (zie ook de terughoudendheid/beperkingen/voorwaarden voor een repressieve inzet in hoofdstuk 5): de tijd		

waarbinnen water op het vuur wordt gebracht, heeft invloed op de ontwikkeling van de brand en op de bestrijdbaarheid daarvan. De toepassing van een droge blusleiding (DBL) kan de inzettijd verkorten, omdat minder slanglengte hoeft te worden uitgerold. Denk bij het ontwerp na over de meest effectieve plaats van een DBL: daar waar de brandweer naar binnengaat.

- > Toepassing van ventilatie/RWA in gesloten garage kan positieve invloed hebben op de inzetmogelijkheden voor de brandweer.

Manueel, semiautomatisch of automatisch parkeren

Algemene omschrijving van de verschillen tussen de typen garages

Manueel parkeren

Bij manueel parkeren parkeert de bestuurder de auto zelf op een parkeervak in de parkeergarage.

Automatisch parkeren

In een automatische parkeergarage zit een volautomatisch parkeersysteem verwerkt. In dit systeem parkeert de gebruiker de auto in een entreeruimte en verlaat deze. De gebruiker scant zijn pasje buiten, waarna de auto geheel automatisch in de parkeergarage wordt geplaatst.⁴⁰

Semiautomatisch parkeren

Een semi- of halfautomatisch parkeersysteem maakt het mogelijk om meerdere auto's boven of naast elkaar te parkeren. Hierdoor creëert men meer parkeercapaciteit. Gebruikers parkeren hun auto zelf door deze op een platform te rijden. Een volgende gebruiker laat het systeem stijgen en parkeert zijn auto eronder.⁴¹

Kenmerkende verschillen, problemen, maatregelen en oplossingen

In tabel B3.2 op de volgende pagina staan diverse zaken uitgewerkt.

- > Een aantal kenmerkende verschillen tussen manueel parkeren en (semi)automatisch parkeren. Kolom 1 geeft het kenmerk weer (bijvoorbeeld: 'warmteopbouw in constructie').
- > Kolom 2 en 3 van de tabel bevatten een omschrijving van de vergelijking tussen een parkeergarage waarin manueel wordt geparkeerd of (semi)automatisch.
- > In deze tabel is een verdeling gemaakt in twee thema's:
 - brandontwikkeling
 - bestrijdbaarheid.

De tabel sluit af met een aantal aandachtspunten en tips.

⁴⁰ www.carparkers.nl.

⁴¹ www.carparkers.nl.

Tabel B3.2 Manueel, semiautomatisch en automatisch parkeren

	Manueel parkeren	(Semi)automatisch parkeren
Brandontwikkeling		
Brandscenario	Lokaal auto brandscenario, omvang brand kan waarschijnlijk langer beperkt blijven.	Omvang van de brand kan groter worden. (Auto's bevinden zich veel dichter bij elkaar, boven, onder en naast elkaar). Bovendien is er sprake van vuurlast van het parkeersysteem zelf (hydrauliek, olie).
Warmteopbouw in de constructie	Minder snel.	Sneller, met grotere thermische belastingen op draag- en scheidingsconstructies.
Kans op branduitbreiding tussen voertuigen	Minder snel.	Sneller, zowel tussen de auto's onderling als naar andere gebouwen (bij een compartimentsbrand).
Bestrijdbaarheid		
Plaatsbepaling elektrisch aangedreven voertuigen	Eenvoudiger. Veelal alleen naast elkaar geparkeerde auto's.	Plaatsbepaling/vindbaarheid bij (semi)automatisch parkeren is complexer, omdat auto's gedeeltelijk of geheel buiten het zicht geparkeerd kunnen zijn.
Repressieve inzet	Eenvoudiger. Zie echter ook de beperkingen en voorwaarden genoemd in hoofdstuk 4.	> Niet tot nauwelijks mogelijk voor voertuigen die geheel of gedeeltelijk aan het zicht zijn onttrokken of vanaf de toegang van de parkeergarage geheel niet voor de brandweer bereikbaar zijn. > Bij een defect aan het (semi)automatische systeem kan het voertuig bij brand sowieso niet uit de parkeergarage worden gehaald.
Aandachtspunten:		
> Toepassing van een lokale sprinklerinstallatie op die plaatsen in het (semi)automatische parkeersysteem waar elektrisch aangedreven voertuigen geparkeerd kunnen worden, zodat een brand in een elektrisch aangedreven voertuig in de kiem gesmoord kan worden en beperkt kan blijven. > Indien een autolift in plaats van een oprit is aangebracht om een bovenliggende bouwlaag te bereiken: bergen van een elektrisch aangedreven voertuig is complexer.		

Bovengrondse of ondergrondse parkeergarage

Algemene omschrijving van de verschillen tussen de typen garages

Met een bovengrondse parkeergarage bedoelen we een parkeergarage waarvan de laagste vloer op het maaiveld ('meetniveau') ligt. Bij een ondergrondse parkeergarage liggen één of meerder vloeren onder het meetniveau. Vanuit brandveiligheidsoogpunt brengen parkeergarages die onder het meetniveau liggen een aantal extra complexiteiten met zich mee. Vaak zien we bij een ondergrondse parkeergarage dat er op het 'dak' van deze parkeergarage sprake kan zijn van verschillende 'opbouwen'. Denk bijvoorbeeld aan een woongebouw of een winkelcentrum dat op de parkeergarage is gebouwd. Het komt echter ook voor dat boven de ondergrondse parkeergarage een plein is gelegen waar bijvoorbeeld de wekelijkse markt wordt gehouden. Vanuit het oogpunt van ontvluchting en brandbestrijding zijn ondergrondse parkeergarages in zogenaamde 'exotische varianten' ('kurketrekker-ontwerp'/split-level) extra complex, zeker als het gaat om de vindbaarheid en bestrijdbaarheid van een brand in een elektrisch aangedreven voertuig.

Kenmerkende verschillen, problemen, maatregelen en oplossingen

In onderstaande tabel staan diverse zaken uitgewerkt.

- > Een aantal kenmerkende verschillen tussen bovengronds- en ondergronds parkeren. Kolom 1 geeft het kenmerk weer (bijvoorbeeld: 'rookoverlast').
- > Kolom 2 en 3 van de tabel bevatten een omschrijving van de vergelijking tussen een bovengrondse parkeergarage en een ondergrondse parkeergarage.
- > In deze tabel is een indeling gemaakt in drie thema's:
 - vluchtmogelijkheden
 - impact op de omgeving
 - bestrijdbaarheid.

De tabel sluit af met een aantal aandachtspunten.

Tabel B3.3 Bovengrondse en ondergrondse parkeergarages

	Bovengronds	Ondergronds
Vluchtmogelijkheden		
Vluchtrichting	Vluchten 'tegen de rook in' (over het algemeen 'sneller uit de rook').	Vanuit de lagergelegen verdiepingen moet 'naar boven' worden gevlucht en 'met de rook en hitte mee'. Dat is ongunstiger.
Impact op de omgeving		
Rookoverlast	Vaak mogelijkheid om de rook 'bovendaks' af te voeren, minder impact op de omgeving ten opzichte van ondergrondse parkeergarage zonder bebouwing op het dak.	Wanneer er boven een ondergrondse parkeergarage bijvoorbeeld een marktplein ligt, heeft de omgeving meer last van rookoverlast (geen 'bovendakse' afvoer).
Bestrijdbaarheid		

Plaatsbepaling elektrisch aangedreven voertuigen	Plaatsbepaling van elektrisch aangedreven voertuigen iets minder complex.	> Plaatsbepaling van elektrisch aangedreven voertuigen complexer i.v.m. opstijgende rook/hitte. > Plaatsbepaling van elektrisch aangedreven voertuigen kan niet van buiten plaatsvinden (i.v.m. ondergrondse ligging).
Repressieve inzet	Eenvoudiger. Zie echter ook de beperkingen en voorwaarden genoemd in hoofdstuk 4.	> Elektrisch aangedreven voertuig is lastiger te bergen (i.v.m. zwaartekracht: voertuig moet omhoog worden getakeld/getrokken).
Aandachtspunten: > Elektrisch aangedreven voertuigen bij voorkeur op de begane grond bij de brandweertoegang positioneren in verband met de bereikbaarheid en bestrijdbaarheid. > Een uitbrandscenario is minder snel een optie als er op de parkeergarage infra of gebouwen staan, of als er op de parkeergarage activiteiten plaatsvinden zoals bijvoorbeeld een markt. In dat geval kan worden gedacht aan overdimensionering of het brandwerend bekleden van de bouwkundige constructie, zodat het gebouw gedurende langere tijd bestand is tegen thermische belastingen. > De kans van de plaatsbepaling van een elektrisch aangedreven voertuig in een ondergrondse parkeergarage kan worden vergroot door een rookvrije toegang tot de ondergronds gelegen lagen van de parkeergarage te realiseren. Denk bijvoorbeeld aan een trappenhuis dat kan worden gebruikt als aanvalsroute voor de brandweer, met daarin tevens een aansluitpunt voor een droge blusleiding (i.v.m. verkorting inzetdiepte). > Overleg met de berger van de voertuigen of voor het bergen van elektrische voertuigen uit een ondergrondse parkeergarage voorzieningen nodig zijn.		

Gebruiksoppervlakte $\leq 1.000 \text{ m}^2$ of $> 1.000 \text{ m}^2$

Algemene omschrijving van de verschillen tussen de typen garages

Voor parkeergarages met een gebruiksoppervlakte van maximaal 1.000 m^2 gelden de prestatie-eisen van Bouwbesluit 2012. Een parkeergarage groter dan 1.000 m^2 voldoet niet rechtstreeks aan de prestatie-eisen van Bouwbesluit 2012. In dat geval moet de aanvrager van een omgevingsvergunning voor het bouwen ten genoegen van het bevoegd gezag aannemelijk maken met welke voorzieningen er sprake is van een gelijkwaardige mate van brandveiligheid als is beoogd met de voorschriften van het Bouwbesluit 2012. In de praktijk treffen we in parkeergarages van meer dan 1.000 m^2 over het algemeen voorzieningen aan ter beperking van uitbreiding van brand (bijvoorbeeld een sprinkler), en/of voorzieningen die invloed kunnen hebben op de rookverspreiding en/of repressieve inzet van de brandweer (ventilatievoorziening, RWA). In parkeergarages van maximaal 1.000 m^2 treffen we dergelijke voorzieningen doorgaans niet. Dat betekent dat de risico's van een brand in parkeergarages van maximaal 1.000 m^2 anders zijn dan in parkeergarages groter dan 1.000 m^2 .

De grenswaarde van 1.000 m^2 staat sinds 2003 in het Bouwbesluit. Dat betekent dat in ieder geval voor bestaande parkeergarages die gebouwd zijn na 2003 sprake kan zijn van de genoemde verschillen. Voor parkeergarages die zijn gebouwd vóór 2003 waren deze

grenswaarden anders, waardoor ook het toegepaste voorzieningenniveau anders kan zijn. Tot 2003 werden in parkeergarages doorgaans compartimenten toegestaan tot 5.000 m², zonder extra voorzieningen.

Kenmerkende verschillen, problemen, maatregelen en oplossingen

In onderstaande tabel staan diverse zaken uitgewerkt.

- > Een aantal kenmerkende verschillen tussen parkeergarages van maximaal 1.000 m² en parkeergarages groter dan 1.000 m². Kolom 1 geeft het kenmerk weer (bijvoorbeeld: 'brandveiligheidsvoorzieningen').
- > Kolom 2 en 3 van de tabel bevatten een omschrijving van de vergelijking tussen een parkeergarage kleiner dan 1.000 m² en parkeergarage groter dan 1.000 m².
- > In deze tabel is een indeling gemaakt in drie thema's:
 - omgevingsvergunning voor het bouwen
 - brandveiligheidsvoorzieningen
 - brandontwikkeling.

Tabel B3.4 Parkeergarages groter en kleiner dan 1000m²

	Gebruiksoppervlakte ≤ 1.000 m ²	Gebruiksoppervlakte > 1.000 m ²
Omgevingsvergunning voor het bouwen		
Sturingsmogelijkheid bevoegd gezag/veiligheidsregio	Minder sturingsmogelijkheid voor het bevoegd gezag (gemeente)/veiligheidsregio op het voorzieningenniveau, omdat de prestatie-eisen gelden en geen extra eisen mogen worden gesteld.	Meer sturingsmogelijkheid voor het bevoegd gezag (gemeente)/veiligheidsregio op het voorzieningenniveau. Het bevoegd gezag heeft namelijk enige beoordelingsvrijheid bij de acceptatie van een gelijkwaardige oplossing.
Brandveiligheidsvoorzieningen		
Brandveiligheidsvoorzieningen	Veelal 'standaard/minimum Bouwbesluit'.	Veelal extra voorzieningen t.b.v. een beperking van branduitbreiding en rookverspreiding, en/of een repressieve inzet.
Brandontwikkeling		
Snelheid optreden ongunstige situatie	Als gevolg van de kleinere oppervlakte is de kans groter dat er sneller brandfysisch ongunstige situaties ontstaan als gevolg van de afwezigheid van specifieke voorzieningen en het beperktere ruimtevolume.	Als gevolg van de grotere oppervlakte in combinatie met de aanwezigheid van specifieke voorzieningen (sprinkler, ventilatie, RWA), is de kans groter dat het langer duurt totdat er brandfysisch ongunstige situaties ontstaan.

Eén of meerlaagse parkeergarages

Algemene omschrijving van de verschillen tussen de typen garages

Eén- of meerlaagse parkeergarages verschillen in het aantal bouwlagen. Bij de behandeling van de verschillen tussen één -of meerlaagse parkeergarage vergelijken we een éénlaagse parkeergarage op maaiveldniveau met een parkeergarage met meerdere bouwlagen boven- of ondergronds. Het enige verschil dat in deze paragraaf wordt behandeld, is dat er in plaats van één bouwlaag meerdere bouwlagen zijn; de overige uitgangspunten worden hetzelfde gehouden. Voor de éénlaagse parkeergarages die niet op de begane grond liggen, wordt verwezen naar de andere paragrafen.

Kenmerkende verschillen, problemen, maatregelen en oplossingen

In onderstaande tabel staan diverse zaken uitgewerkt.

- > Een aantal kenmerkende verschillen tussen éénlaagse en meerlaagse parkeergarages. Kolom 1 geeft het kenmerk weer (bijvoorbeeld: 'brandscenario').
- > Kolom 2 en 3 van de tabel bevatten een omschrijving van de vergelijking tussen een éénlaagse en een meerlaagse parkeergarage.
- > In deze tabel is een verdeling gemaakt in twee thema's:
 - brandscenario
 - brandbestrijding.

De tabel sluit af met een aantal aandachtspunten.

Tabel B3.5 Eénlaagse en meerlaagse parkeergarages

	Eénlaagse parkeergarage	Meerlaagse parkeergarage
Brandscenario		
Brandscenario	Brand blijft beperkt tot één bouwlaag; overzichtelijker qua plaatsbepaling van de brandhaard.	Brand kan zich naar meerdere bouwlagen uitbreiden; lastiger qua plaatsbepaling van de brandhaard.
Brandbestrijding		
Brandbestrijding	Binneninzet eenvoudiger. Zie echter ook de terughoudendheid m.b.t. een binneninzet in hoofdstuk 4.	Binneninzet op verdiepingen complexer/vrijwel onmogelijk.
	Sneller inzetten en bestrijden mogelijk.	Inzet duurt langer bij meerlaagse parkeergarage: trappenhuis zoeken, slangen meenemen, bouwlagen overstijgen, evt. achtergebleven personen zoeken in de rook boven de brand enz.
	Het bergen van een elektrisch aangedreven voertuig is minder complex.	Het bergen van een elektrisch aangedreven voertuig is complexer op een verdieping van een parkeergarage.

Bluswater bevindt zich op de begane grond: afvoer is eenvoudiger.

Afvoeren van bluswater op verdieping van meerlaagse parkeergarage is lastiger (met name bij een ondergrondse parkeergarage).

Aandachtspunten:

- > Elektrisch aangedreven voertuigen bij voorkeur op de begane grond positioneren i.v.m. bereikbaarheid en bestrijdbaarheid.
- > M.b.t. een repressieve inzet is met name in een meerlaagse parkeergarage de vraag hoe de brandweer zo makkelijk mogelijk binnen komt en zo snel mogelijk water op het vuur kan krijgen.
- > M.b.t. de bestrijdbaarheid in een meerlaagse parkeergarage is ook de inzetdiepte een aandachtspunt: deze is mede afhankelijk van de loopafstanden in de parkeergarage en het toegepaste brandveiligheidsconcept.

Bebouwde of onbebouwde directe omgeving

Algemene omschrijving van de verschillen tussen de typen garages

Parkeergarages kunnen geheel vrij staan ten opzichte van andere gebouwen. Meestal staat een parkeergarage echter in de buurt van of is geïntegreerd met allerlei andere gebouwen. Denk bijvoorbeeld aan een woongebouw dat boven op de parkeergarage staat, of andere gebouwen die in de directe omgeving bij de parkeergarage staan. Bij de beschrijving van de verschillen gaan we uit van een vrijstaande parkeergarage en van een parkeergarage waar bijvoorbeeld boven of dicht in de buurt andere gebouwen zijn geplaatst.

Kenmerkende verschillen, problemen, maatregelen en oplossingen

In tabel B3.6 hieronder staan diverse zaken uitgewerkt.

- > Een aantal kenmerkende verschillen tussen parkeergarages in een bebouwde omgeving en in een onbebouwde omgeving. Kolom 1 geeft het kenmerk weer (bijvoorbeeld: 'impact op de omgeving').
- > Kolom 2 en 3 van de tabel bevatten een omschrijving van de vergelijking tussen een parkeergarage in een bebouwde omgeving en in een onbebouwde omgeving.
- > In deze tabel is een indeling gemaakt in twee thema's
 - brandscenario
 - impact op de omgeving.

De tabel sluit af met een aantal aandachtspunten.

Tabel B3.6 Parkeergarages in een bebouwde en onbebouwde omgeving

	Bebouwde omgeving	Onbebouwde omgeving
Brandscenario		
Brandscenario	Een afbrand- of uitbrandscenario is voor een parkeergarage in een bebouwde omgeving minder snel een optie i.v.m. het risico op schade of bezwijken van constructie-onderdelen	Een afbrand- of uitbrandscenario is een meer voor de hand liggende optie.

en de veiligheid van personen die zich
bijv. in een bovenliggend gebouw
bevinden.

Impact op de omgeving

Impact op de omgeving	Een brand in een parkeergarage heeft meer en sneller ongunstige gevolgen op de bebouwde omgeving zoals woningen, maar ook op infrastructuur: > rookoverlast, vrijkomende gassen/verbrandingsproducten vormen een risico voor de bedrijfszekerheid van omliggende bedrijven. > mogelijk evacuatie noodzakelijk van personen in omliggende gebouwen (met name 's nachts in gebouwen waar wordt overnacht).	Een brand in een parkeergarage heeft minder en indirecter impact op de omgeving. Het kan langer duren voor een rookpluim de bebouwde omgeving heeft bereikt en dan bevindt deze zich doorgaans al op grotere hoogte. Wel zou een dergelijke brand/rook impact kunnen hebben op vliegverkeer in het geval zich een luchthaven in de nabijheid van de parkeergarage bevindt.
	Omdat de brandduur in een parkeergarage met elektrisch aangedreven voertuigen langer is, zijn ook de tijdsduur van het incident en de overlast voor de omgeving langer. Dat heeft in bebouwd gebied meer impact dan in onbebouwd gebied.	Een langere tijdsduur van het incident en van de overlast voor de omgeving bij een brand in een parkeergarage met elektrisch aangedreven voertuigen heeft in onbebouwd omgeving doorgaans minder impact.

Aandachtspunt:

Houd bij de keuze van het brandveiligheidsniveau in de parkeergarage en de te nemen maatregelen rekening met de impact op de aanwezige gebouwen in de omgeving.

Bestaande of nieuwe parkeergarage

Algemene omschrijving van de verschillen tussen de typen garages

De verschillen tussen bestaande of nieuwe parkeergarages kenmerken zich vooral in bekendheid met het toegepaste voorzieningenniveau. Van een nieuwe parkeergarage is in de praktijk veelal redelijk complete documentatie over de toegepaste voorzieningen beschikbaar, bijvoorbeeld in de vorm van een omgevingsvergunning voor het bouwen. Voor bestaande parkeergarages ontbreken dergelijke stukken vaak en is niet altijd te achterhalen welke brandveiligheidsvoorzieningen zijn toegepast en op welk brandveiligheidsconcept dergelijke voorzieningen zijn gebaseerd.

Kenmerkende verschillen, problemen, maatregelen en oplossingen

In onderstaande tabel staan diverse zaken uitgewerkt.

- > Een aantal kenmerkende verschillen tussen bestaande -en nieuwe parkeergarages. Kolom 1 geeft het kenmerk weer (bijvoorbeeld: 'toegepaste voorzieningen').

- > Kolom 2 en 3 van de tabel bevatten een omschrijving van de vergelijking tussen bestaande en nieuwe parkeergarages.
- > In deze tabel is een indeling gemaakt in twee thema's:
 - toegepaste voorzieningen en brandveiligheidsniveau
 - vergunningverlening en toezicht.

Tabel B3.7 Bestaande en nieuwe parkeergarages

Bestaande parkeergarage		Nieuwe parkeergarage
Toegepaste voorzieningen en brandveiligheidsniveau		
Toegepaste voorzieningen	De prestaties van de brandveiligheidsvoorzieningen in bestaande garages zijn niet altijd gedocumenteerd en traceerbaar.	De prestaties van brandveiligheidsvoorzieningen in nieuwe parkeergarages zijn doorgaans redelijk gedocumenteerd en traceerbaar.
Uitgangspunten toegepaste voorzieningen	Dezelfde parkeergarages in verschillende steden kunnen verschillende voorzieningen/brandveiligheidsniveaus hebben. Dit is het gevolg van verschillende bepalingmethoden/onderbouwingen voor gelijkwaardigheid die in het verleden zijn toegepast.	Over het algemeen zal bij nieuwe parkeergarages een wat eenduidiger beeld van het toegepaste voorzieningenniveau bestaan.
Vergunningverlening en toezicht		
Verschillende afdelingen/personen	Het toezicht op bestaande parkeergarages wordt vanuit het bevoegd gezag doorgaans door een andere afdeling of door andere personen uitgevoerd dan de vergunningverlening.	Vergunningverlening van nieuwe parkeergarages wordt vanuit het bevoegd gezag doorgaans door een andere afdeling of door andere personen uitgevoerd dan het toezicht op bestaande parkeergarages.
Sturingsmogelijkheden op het veiligheidsniveau bij handhaving/vergunningverlening	De sturingsmogelijkheden om als bevoegd gezag/veiligheidsregio een hoger brandveiligheidsniveau af te dwingen zijn doorgaans beperkt en moeten gepaard gaan met een specifieke motivering. Bovendien heeft toezicht/handhaving doorgaans geen hoge prioritering in het beleid van het bevoegd gezag.	De sturingsmogelijkheden om als bevoegd gezag/veiligheidsregio invloed uit te oefenen zijn in de praktijk bij vergunningverlening iets groter. De bevoegdheid om een gelijkwaardige oplossing te accepteren ligt bij het bevoegd gezag.

Overige typen parkeergarages

Naast de hierboven behandelde parkeergarages zijn nog meer typen parkeergarages denkbaar. Hieronder worden er een aantal genoemd, samen met aantal aandachtspunten.

Beheerde en onbeheerde parkeergarages

Verschillende parkeergarages worden beheerd door een beheerder. Soms is deze de hele dag aanwezig in bijvoorbeeld een portiersloge, en soms op afstand. Ook kan hij/zij slechts periodiek aanwezig zijn, of alleen indien nodig de parkeergarage bezoeken. Overigens lijken er steeds minder parkeergarages te zijn met beheerders.

Het voordeel van een parkeergarage met een beheerder is, dat deze direct kan toezien op een correct gebruik van de laadpalen, de staat van onderhoud daarvan et cetera, en tevens actie kan ondernemen in het geval er brand is. Voorwaarde is uiteraard wel dat de beheerder op dat moment bij de parkeergarage is en kennis van zaken heeft.

Publieke en niet-publieke garages.

Publieke en niet-publieke garages worden volgens NEN 2443 aangeduid als 'parkeergarages' en 'stallingsgarages'.⁴² Kenmerk van een publieke parkeergarage, bijvoorbeeld onder een winkelcentrum, is dat er sprake is van veel wisselende bezoekers en er veel parkeerbewegingen zijn. Bij een niet-publieke garage, bijvoorbeeld onder een woongebouw, is over het algemeen sprake van vaste parkeerplaatsen voor bewoners, zodat er minder mogelijkheden zijn om de parkeerplaatsen voor elektrisch aangedreven voertuigen te positioneren op voor de brandbestrijding gunstige posities. In een publieke parkeergarage zijn er wat dit betreft over het algemeen wat meer mogelijkheden.

⁴² NEN 2443 wordt in dit verband uitsluitend gebruikt voor een bruikbare definitie voor publieke en niet-publieke parkeergarages. De norm is verder niet bedoeld voor de beoordeling van de brandveiligheid van een parkeergarage en blijft in deze publicatie verder buiten beschouwing.