

Brandveiligheidsmaatregelen in het kader van de energietransitie: (fietsen)stallingen



Nederlandse Academie voor
Crisisbeheersing en Brandweezorg
Postbus 7010
6801 HA Arnhem
Kemperbergerweg 783, Arnhem
www.nipv.nl
info@nipv.nl
026 355 24 00

Colofon

© Nederlands Instituut Publieke Veiligheid (NIPV), 2025

Auteur(s) R. van Liempd, L. Wolfs, J. Ebus (rapport uit 2021)
Contactpersoon R. van Liempd

Opdrachtgever ProRail
Contactpersoon Marc Nahar

Datum 1 december 2025 (herziening van rapport d.d. 19 maart 2021)

Foto voorblad ProRail

Wij hechten veel belang aan kennisdeling. Delen uit deze publicatie mogen dan ook worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding.

Samenvatting

ProRail werkt bij het ontwerpen of verbouwen van stations aan duurzaamheid. Voor fietsenstallingen betekent dit onder meer dat er meer ruimte zal komen voor het stallen van elektrische fietsen, fatbikes en elektrische scooters. Om de veiligheid op en rond de treinstations te borgen, wil ProRail inzicht hebben in de veiligheidsrisico's van het stallen van elektrische fietsen, fatbikes en scooters. Doel van dit onderzoek is het ontwikkelen van kennis over het brandgedrag van elektrische tweewielers (in stallingssituaties) en voorstellen voor brandveiligheidsmaatregelen die door ProRail te gebruiken zijn voor het construeren van brandveilige (fietsen)stallingen.

Bijna de helft van alle verkochte fietsen in Nederland is op dit moment elektrisch. Dertien procent van alle verkochte fietsen betrof een fatbike en eenenveertig procent van de verkochte scooters of brommers is elektrisch. De meeste elektrische tweewielers hebben een Li-ion-accu. In de fietsenstallingen van ProRail zijn daardoor ook meer elektrische tweewielers met Li-ion-accu's te verwachten. Vanwege de toename van elektrische fietsen wordt de kans op brand in een fietsenstalling groter. Het eventueel opladen van accu's zal hier nog verder aan bijdragen. Een brand kan zich sneller en tot grotere omvang ontwikkelen wanneer veel elektrische fietsen aanwezig zijn in een stalling. Bij een inpanidige fietsenstalling met daarin veel elektrische fietsen kan niet uitgesloten worden dat een brand uitgroeit tot de gehele fietsenstalling. Ook een fietsflat of maaiveldstalling kan uiteindelijk helemaal uitbranden. Het gelijktijdig in brand staan van de volledige fietsflat of maaiveldstalling valt in basis echter niet te verwachten. Ook omliggende ruimtes en objecten kunnen bedreigd worden door de brand. Ditzelfde geldt voor een brand in een stallingssituatie met fatbikes en scooters.

Om het risico van een brand in een fietsenstalling te verlagen, zijn verschillende maatregelen denkbaar die bijdragen aan verschillende doelstellingen. Doelstellingen kunnen zijn:

- > voorkomen van het ontstaan van brand
- > beperken van de kans op slachtoffers en gewonden
- > beperken van de brandomvang in de stalling
- > beperken van de effecten van een ruimte in brand
- > beperken van de branduitbreiding buiten de stalling.

Deze doelstellingen hebben een directe relatie met de effecten van een brand zoals:

- > het vallen van slachtoffers en gewonden
- > de kosten
- > de tijd dat een stalling, het station of het spoor buiten gebruik is
- > de klanttevredenheid
- > het imago van ProRail (dit laatste valt buiten de scope van dit rapport).

Wat de effecten van een brand zijn, kan verschillen per stalling. Dit heeft onder meer te maken met de ligging van de stalling, de uitvoering en het gebruik van de stalling. Afhankelijk van de situatie kan ProRail kijken welke maatregelen zij in wil zetten. Gedacht kan worden aan het verbieden van het opladen van elektrische tweewielers, snelle branddetectie en een automatische blusinstallatie. Het is niet altijd nodig om alle

maatregelen toe te passen. Dit hangt er onder meer van af welke effecten acceptabel gevonden worden voor een specifieke stalling en wat voor stallingssituaties er zijn (bv. het aandeel fietsen wat elektrisch is).

Inhoud

	Samenvatting	3
	Inleiding	6
1	Onderzoeksmethode	10
1.1	Algemene inventarisatie van het veiligheidsvraagstuk	10
1.2	Risico-inventarisatie uitvoeren	10
1.3	Incidentscenario's opstellen	10
1.4	Veiligheidsmaatregelen formuleren	13
2	Fietsenstallingen	14
2.1	Fietsenstallingen en ontwikkelingen op het gebied van elektrische fietsen, fatbikes en scooters	14
2.2	Ontstaansoorzaken thermal runaway en kenmerken van brand van een Li-ion accu, (elektrische) fiets, bakfiets, fatbike en scooter	18
2.3	Brandverloop bij brand in een fietsenstalling	29
2.4	Mogelijke scenario's	40
2.5	Mogelijke maatregelen	52
3	Beantwoording onderzoeksvragen en aanbevelingen	67
3.1	Beantwoording onderzoeksvragen	67
3.2	Aanbevelingen	70
	Literatuurlijst	71
	Bijlage A Brandkenmerken Li-ion-accu	74

Inleiding

Achtergrond

Er zijn in Nederland vierhonderd treinstations. Op zo'n zeventig daarvan staat een stationsgebouw, op de overige driehonderddertig niet. De gebouwen zijn voornamelijk eigendom van de NS, terwijl ProRail eigenaar is van perrons en infra. In de onderstaande afbeelding I.1 is een voorbeeld van de verdeling van het eigendomschap op een stationscomplex geschematiseerd weergegeven.

Eigendom op stations



Afbeelding I.1 Eigendom op stations (bron: ProRail)

Er zijn verschillende partijen die een rol vervullen binnen het stationsgebied. In de onderstaande afbeelding zijn de verschillende partijen en hun rollen weergegeven.

Functies op stations



Afbeelding I.2 Functies op stations (bron: ProRail)

De functies waarmee ProRail, de NS en de gemeente zich bezighouden zijn in respectievelijk rood, geel en groen weergegeven. Blauw geeft de functies van de vervoerder weer, en oranje die van de exploitant. De fietsenstallingen zijn meestal in beheer en eigendom van ProRail, maar ook gemeentes kunnen fietsenstallingen in hun beheer hebben.

Aanleiding

Er is een toename te zien van het aantal elektrische fietsen en fatbikes in Nederland. Bijna de helft van het totaal aantal verkochte fietsen in Nederland in 2024 betrof een elektrische fiets (Stichting BOVAG-RAI, 2025). In de fietsenstallingen van ProRail worden dan ook steeds vaker elektrische fietsen gestald; een verdere toename is te verwachten.

Elektrische fietsen vertonen, met name vanwege de accu, een ander brandgedrag dan niet-elektrische fietsen (Wolfs & Van Liempd, 2025a). Om de mate van brandveiligheid in de fietsenstallingen en op en rond de treinstations op een voldoende hoog niveau te houden, heeft het Nederlands Instituut Publieke Veiligheid (NIPV, toen IFV) in opdracht van ProRail in 2021 veiligheidsmaatregelen en richtlijnen uitgewerkt die te gebruiken zijn voor het construeren van brandveilige fietsenstallingen. Deze voorstellen zijn uitgewerkt in het rapport *Brandveiligheidsmaatregelen in het kader van de energietransitie: fietsenstallingen en zonnepanelen (2021)*. Aangezien er weinig bekend was over het specifieke brandgedrag van elektrische fietsen in een stalling en het bijbehorende brandverloop, heeft het NIPV in het genoemde rapport bepaalde aannames gedaan om tot de voorstellen te kunnen komen. Het brandvermogen van een elektrische fiets en de snelheid van branduitbreiding in een stallingssituatie met fietsen waren bijvoorbeeld aannames in dit rapport.

Omdat het brandgedrag en het brandverloop van (elektrische) fietsen in fietsenstallingen nog onbekend waren, was het onduidelijk of de fietsenstallingen voldoende veilig zouden zijn wanneer er (steeds meer) elektrische fietsen (en fatbikes en elektrische scooters) in gestald

zouden worden. Tot op heden worden (elektrische) scooters op stations over het algemeen overigens alleen in stallingen in de buitenlucht geplaatst, maar gemeentes willen weten of elektrische scooters ook in inpandige stallingen geplaatst kunnen worden. Net als van elektrische fietsen was het brandgedrag en het brandverloop van (elektrische) scooters en fatbikes in een stalling onbekend. Het was dus onduidelijk of het toevoegen van (elektrische) scooters en fatbikes in inpandige fietsenstallingen tot een ongewenst risico zou leiden.

Om het brandgedrag en het brandverloop van (elektrische) fietsen, fatbikes en scooters in inpandige stallingen onderbouwd in beeld te kunnen brengen, heeft ProRail het NIPV gevraagd om hiervoor praktijkexperimenten op te zetten. Ook heeft ProRail gevraagd om het brandgedrag en het brandverloop te vertalen naar voorstellen voor concrete brandveiligheidsmaatregelen in stallingen. De kennis uit de praktijkexperimenten die daarop zijn uitgevoerd, is gebruikt om het rapport uit 2021 te herzien.¹ Het resultaat is het voorliggende document.

Fasering van het onderzoek

Het gehele onderzoek was opgedeeld in drie fases. Fase 1, de calorimeter experimenten, bestond uit het bepalen van het brandgedrag en brandverloop van (elektrische) fietsen en scooters door middel van praktijkexperimenten. Daarnaast is in fase 1 gekeken naar de kans op branduitbreiding. Deze kans bepaalt of het aannemelijk is dat een brand zich kan uitbreiden naar andere fietsen of scooters in een stalling. In fase 2, de experimenten van een stallingssituatie, is het brandverloop bij een brand in een stalling met (elektrische) fietsen, fatbikes en (elektrische) scooters in beeld gebracht, eveneens door praktijkexperimenten. Daarvoor is een deel van een inpandige stalling nagebouwd. Hiermee kon de snelheid worden bepaald waarmee andere fietsen, fatbikes of scooters betrokken zouden raken bij een brand. In fase 2 is ook een sprinklerinstallatie getest die kan bijdragen aan het beperken van de brandomvang in een inpandige stallingssituatie.

Door de resultaten van fase 1 en 2 te combineren, kan bepaald worden wat voor brand-scenario's zich kunnen voordoen in verschillende stallingsituaties en wat voor effecten daarbij kunnen optreden. Op basis van deze gegevens kan in fase 3 geadviseerd worden welke maatregelen mogelijk zijn om een voldoende mate van brandveiligheid te behalen voor de fietsenstalling en op en rond de treinstations. Dit rapport gaat in op fase 3 waarbij het rapport uit 2021 herzien is.

Doel

Doel van het onderzoek is om het brandgedrag en het brandverloop van (elektrische) fietsen, fatbikes en scooters te vertalen naar voorstellen voor concrete brandveiligheidsmaatregelen in inpandige stallingen. Deze maatregelen zijn door ProRail te gebruiken voor het construeren van brandveilige fietsenstallingen waar elektrische tweewielers (fietsen, fatbikes, bakfietsen, scooters) gestald kunnen worden.

¹ In het rapport uit 2021 kwamen zowel fietsenstallingen als zonnepanelen aan bod. In de voorliggende herziening is enkel het deel over de fietsenstallingen geüpdatet. Het deel dat gaat over de zonnepanelen is uit het rapport gehaald.

Onderzoeksvragen

Om het bovenvermelde doel te bereiken, zullen drie onderzoeksvragen beantwoord worden:

1. Wat zijn de ontwikkelingen op het gebied van elektrische tweewielers (fietsen, fatbikes, bakfietsen, scooters) en op het gebied van fietsenstallingen van ProRail?
2. Wat zijn de (brand)veiligheidsrisico's van het stallen en opladen van elektrische tweewielers (fietsen, fatbikes, bakfietsen, scooters) in bestaande en nieuwe fietsenstallingen die onder beheer en/of eigendom vallen van ProRail?
3. Welke veiligheidsmaatregelen (bouwkundig, installatietechnisch, organisatorisch en repressief) kunnen genomen worden om de brandveiligheid van nieuwe en bestaande fietsenstallingen in relatie tot elektrische tweewielers (fietsen, fatbikes, bakfietsen, scooters) te verbeteren?

Onder het verbeteren van (brand)veiligheid valt tevens een verbetering van de toegankelijkheid van de gebouwen en van installaties voor de brandweer, zodat een zo effectief mogelijke repressieve inzet kan worden geborgd.

Afbakening

Het gaat in dit onderzoek om het stallen van elektrische tweewielers. Daarmee worden elektrische fietsen, fatbikes, bakfietsen en scooters bedoeld. Dit onderzoek is gericht op brandveiligheid, en niet op de arbeids- of omgevingsveiligheid. Zo valt bijvoorbeeld de verspreiding van toxische verbrandingsproducten buiten dit onderzoek. Rookoverlast als gevolg van een brand die van invloed kan zijn op de bedrijfscontinuïteit op het spoor is wél meegenomen.

Dit rapport geeft een advies over mogelijke maatregelen die genomen kunnen worden ter beperking van de risico's als gevolg van een eventuele brand. Welke maatregelen genomen worden bij een specifieke stalling, is afhankelijk van de situatie. Voor het bepalen van de benodigde veiligheidsmaatregelen bij een specifieke stalling, moet afgewogen worden welke maatregelen gewenst zijn en hoe die uitgevoerd moeten worden. Het formuleren van specifieke maatregelen voor afzonderlijke stallingen valt buiten dit onderzoek.

Leeswijzer

De manier waarop het onderzoek is uitgevoerd, staat beschreven in hoofdstuk 1. In hoofdstuk 2 wordt ingegaan op de ontwikkelingen rondom elektrische tweewielers in relatie tot fietsenstallingen van ProRail en de mogelijke scenario's en maatregelen op het gebied van (brand)veiligheid. In hoofdstuk 3 worden de onderzoeksvragen beantwoord en aanbevelingen gedaan.

1 Onderzoeksmethode

Voor dit onderzoek zijn verschillende stappen gezet. Daarbij zijn de beheerders van de documenten die zijn bestudeerd (zie paragraaf 1.1) nauw betrokken. De verschillende onderzoeksactiviteiten staan hieronder beschreven.

1.1 Algemene inventarisatie van het veiligheidsvraagstuk

Tijdens deze algemene inventarisatie is alle door ProRail aangeleverde documentatie over fietsenstallingen bestudeerd, waaronder de eigen ontwerpvoorschriften. Daarnaast is, op verzoek van ProRail, een bezoek gebracht aan station Apeldoorn om drie veelvoorkomende soorten fietsenstallingen te bekijken. Verder is met een deskresearch geïnventariseerd wat vanuit brandveiligheidsoogpunt relevante ontwikkelingen zijn op het gebied van elektrische tweewielers in Nederland. Hierbij is met de sneeuwbal methode gezocht naar ontwikkelingen rondom de uitvoering van tweewielers in algemene zin en meer specifiek naar het gebruik, type, locatie en uitvoering van accu's.

1.2 Risico-inventarisatie uitvoeren

Er is gekeken naar de risico's van de wijze waarop ProRail elektrische tweewielers wil laten stallen in bestaande en nieuwe stallingen. Hierbij is gekeken naar ontstaansoorzaken en brandeffecten van (Li-ion) accu's, de brandkenmerken van (elektrische) tweewielers en het brandverloop van een stallingssituatie met elektrische tweewielers. De volgende informatie is hierbij gebruikt en verzameld:

- > Incidenten die in Nederland hebben plaatsgevonden met elektrische tweewielers en welke factoren mogelijk een rol hebben gespeeld bij die incidenten. Informatie over deze incidenten is opgehaald uit eigen onderzoek naar branden in lichte elektrische voertuigen en door navraag binnen brandonderzoek van de brandweer.
- > De experimenten met fietsen, fatbikes en scooters die zijn uitgevoerd voor ProRail.
- > NIPV-onderzoeken rondom batterijen en literatuur rondom brand en elektrische tweewielers (gezocht via sneeuwbalmethode).

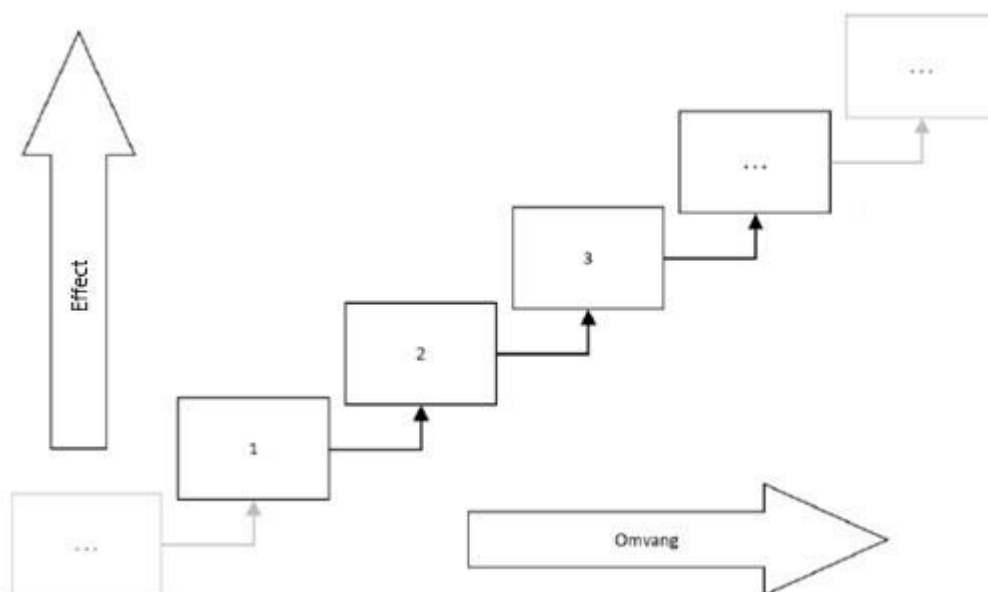
1.3 Incidentscenario's opstellen

Bij het bepalen van de risico's is het van belang te duiden wat er mis kan gaan. Dat is gebeurd met het omschrijven van relevante en realistische incidentscenario's. Het cascademodel (Bertels & Hessels, 2019) is gebruikt om het verloop van deze incidentscenario's van branden in fietsenstallingen en de optredende effecten in beeld te brengen. Input voor deze incidentscenario's is kennis uit literatuur, uit incidenten en uit de experimenten met fietsen, fatbikes en scooters die zijn uitgevoerd voor ProRail. Voor het bepalen van de effecten van een brand in een bepaalde cascade zijn expert-schattingen

door de NIPV-onderzoekers toegepast, aanvullend op (en gebaseerd op) de hiervoor beschreven kennis.

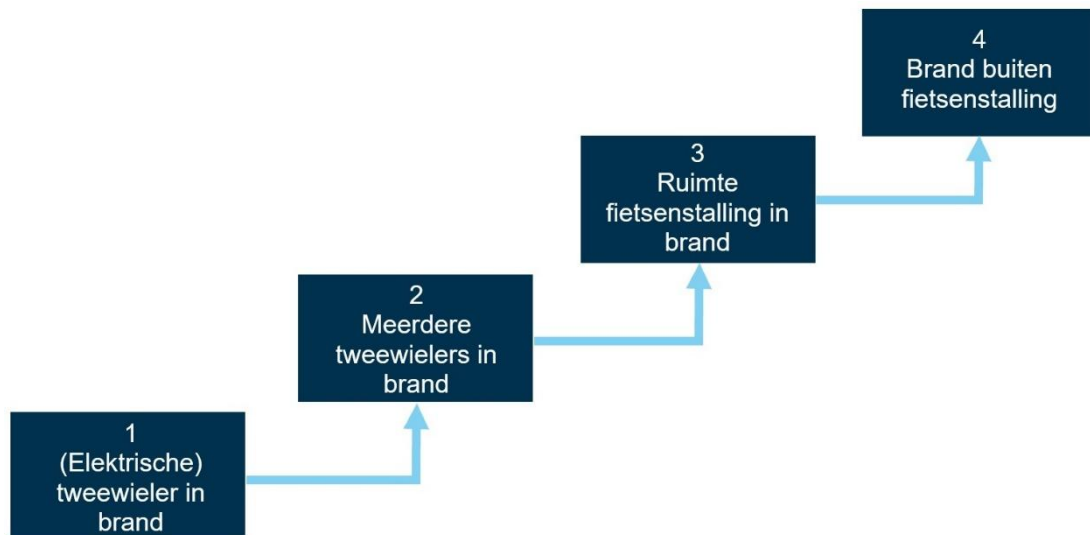
Cascademodel als middel om de incidentscenario's in beeld te brengen

De basis van het cascademodel zijn de cascades: vooraf gedefinieerde ongewenste gebeurtenissen van een bepaalde omvang (bijvoorbeeld 'voorwerp in brand') (Bertels & Hessels, 2019). De cascades nemen toe in omvang (de omvang van de brand); daarmee samenhangend is er veelal sprake van een toenemend effect van de brand en een afnemende kans dat de cascade zich voordoet (zie figuur 1.1, de genummerde rechthoeken zijn de cascades).



Figuur 1.1 Cascademodel 3.0 op hoofdlijnen

Voor een brand in een fietsenstalling is gekozen voor de indeling in cascades in figuur 1.2. Deze indeling sluit aan bij het brandverloop in een fietsenstalling. De indeling van de cascades is verder zo gekozen om de omvang van de effecten en de mogelijke maatregelen bij een bepaalde brandomvang goed in beeld te kunnen brengen.



Figuur 1.2 Cascades voor het scenario met elektrische fietsen, fatbikes en scooters in fietsenstallingen

Elke cascade is een indicatie van een bepaalde omvang en effect van een ongewenste gebeurtenis. Bij elke cascade zijn in dit rapport de volgende zaken beschreven:

- > ontstaansoorzaken
- > kenmerken van de cascade:
 - brandkenmerken (bijvoorbeeld het brandvermogen)
 - interventiekenmerken (de kenmerken van de inzet van de brandweer, bijvoorbeeld het benodigde koelend vermogen)
 - menskenmerken (gedragingen van de aanwezigen die van invloed kunnen zijn op de effecten van een brand)
 - omgevingskenmerken (het verwachte rookbeeld in de omgeving in relatie tot bijvoorbeeld de bedrijfscontinuïteit)
- > effecten van de cascade op basis van de risicomatrix van ProRail:
 - persoonlijke veiligheid van de aanwezigen (inclusief medewerkers)
 - beschikbaarheid van het spoor (is het spoor beschikbaar voor het benodigde treinvervoer?)
 - klanttevredenheid (hoeveel hinder ervaart de reiziger van een brand en als gevolg van een nasleep van de brand? Denk aan een fietsenstalling of een deel van het station dat niet bruikbaar is.)
 - indicatie van de kosten
- > mogelijke maatregelen voor het voorkomen van het ontstaan van de cascade
- > mogelijke maatregelen om de effecten van de cascade te beperken in omvang.

Door het opdelen van een scenario in verschillende cascades van een bepaalde omvang wordt duidelijk welke effecten een bepaalde cascade met zich meebrengt. Op basis hiervan kan door ProRail gekozen worden hoeveel inspanning het wil leveren om deze cascade te voorkomen. Er kan ook beoordeeld worden welke maatregelen nuttig zijn om bepaalde cascades te voorkomen of beperkt in omvang te houden. Voor het voorkomen van het ontbranden van een voorwerp zijn andere maatregelen nuttig dan voor het voorkomen of beperkt houden van een brand in het gebouw. Onder bepaalde voorwaarden, zoals bijvoorbeeld een beperkte brandomvang, kan ook de brandweer een rol spelen door de brand te blussen. Bij een volledig gebouw in brand zal deze inzet naar alle waarschijnlijkheid overigens niet meer succesvol zijn (behalve als het een érg klein gebouw betreft).

Verderop in dit rapport is voor de fietsenstallingen een concrete invulling van het cascade-model 3.0 uitgewerkt (zie paragraaf 2.4). Deze concrete invulling is daarmee de verbindende schakel tussen de ontstaansoorzaken en kenmerken van branden en de mogelijke maatregelen om de effecten en het risico van een incident te beheersen.

1.4 Veiligheidsmaatregelen formuleren

In het verlengde van de scenario's zijn maatregelen bepaald ter voorkoming van incidenten (preventieve maatregelen), alsook maatregelen om incidenten te beheersen en te bestrijden (repressieve maatregelen). Het betreffen maatregelen van bouwkundige, installatie-technische, organisatorische en repressieve aard. Bij het bepalen van de maatregelen is uitgegaan van de geldende wet- en regelgeving (het Besluit bouwwerken leefomgeving en de daarin aangestuurde normen). Vervolgens is beoordeeld welke aanvullende maatregelen mogelijk zijn. De maatregelen zijn opgesteld als een 'cafetariamodel'. Afhankelijk van de mate waarin ProRail bepaalde risico's acceptabel vindt, kan gekozen worden welke maatregelen zullen worden toegepast. De doorvertaling van mogelijke maatregelen naar de ontwerpvoorschriften van ProRail valt buiten deze rapportage.

2 Fietsenstallingen

2.1 Fietsenstallingen en ontwikkelingen op het gebied van elektrische fietsen, fatbikes en scooters

2.1.1 Met de fiets van en naar het station

Veel treinreizigers gaan met de fiets van en naar het station. Dagelijks reizen gemiddeld 975.000 mensen met de trein (NS, 2025). Circa 40 % van de treinreizigers komt met de fiets naar het station. Komend vanuit de trein gaat circa 11 % van de reizigers op de fiets naar de eindbestemming (Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid, 2023). In 2018 is gezien dat zo'n 4 % van de treinreizigers die met een fiets naar het station reizen een elektrische fiets gebruikt. Dit komt neer op ongeveer 15.500 treinreizigers die hun elektrische fietsen stallen bij de treinstations. Nog eens circa 4.000 treinreizigers gaan vanaf het treinstation met de elektrische fiets naar de eindbestemming (Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid, 2018). De verwachting is, dat deze aantallen sinds 2018 zijn toegenomen en nog verder zullen toenemen naarmate de verkoop en het bezit van elektrische fietsen toenemen.

2.1.2 Fietsenstallingen

Ongeveer 390.000 mensen stallen dagelijks hun fiets in een van de stallingen bij het station. De stallingen zijn meestal in beheer en eigendom van ProRail, maar ook gemeentes kunnen stallingen in hun beheer hebben. De vier meest voorkomende typen fietsenstallingen zijn de inpandige stalling, de maaiveldstalling, de fietskelder en de fietsflat (PricewaterhouseCoopers Advisory N.V., 2020). Hieronder zijn deze vier typen beschreven.

Inpandige stalling

Een inpandige stalling is gevestigd in een afgesloten ruimte. Vaak bevindt de stalling zich in een gedeelte van het station of een speciaal daarvoor bestemd bijgebouw.



Maaiveldstalling

Een maaiveldstalling is buiten gelegen en kan zowel met als zonder overkapping gebouwd zijn. De fietsenrekken kunnen enkel- en dubbellaags zijn uitgevoerd. Ook zijn er vaak **fietskluizen** aanwezig.



Kelderstalling

Een kelderstalling is een fietsenstalling die onder het maaiveld (de begane grond) is gelegen. Bij de toegang tot zo'n stalling moet er worden afgedaald naar een lager niveau.



Fietsflat

Een fietsflat is een stalling die buiten is gesitueerd en die twee of meerdere lagen heeft. De fietsflat kan uitgevoerd zijn met of zonder dak. Tevens kunnen de fietsrekken in de stalling zowel enkel- als dubbellaags zijn uitgevoerd.



In overleg met ProRail is besloten om voor de volgende stallingen de maatregelen uit te werken:

- > maaiveldstalling
- > fietskluis
- > fietsflat (uitpandig)
- > inpandige stalling (de kelderstalling is hier ook bij meegenomen).

Fietsenrekken in de stallingen bij stations kunnen zowel enkel- als dubbellaags zijn uitgevoerd. Deze fietsparkeersystemen hebben elk hun eigen standaardafmeting (ProRail, 2020). In tabel 2.1 staan deze afmetingen weergegeven. Voor scooters, fatbikes, bakfietsen en andere type fietsen die niet in de rekken passen, zijn vaak speciaal aangewezen parkeervakken aanwezig.

Tabel 2.1 Standaardafmeting van diverse fietsparkeersystemen

Type fietsparkeersysteem	Standaardafmeting (hart-op-hart)
Enkellaags fietsenrek	37,5 cm
Dubbellaags fietsenrek	37,5 of 39 cm
Buitenmodel fietsenrek	55 cm

Naast verschillende typen fietsenstallingen zijn er ook diverse stallingsvormen, waarbij de wijze van toegang en de mate van toezicht verschillen (ProRail, 2020). Een overzicht hiervan is weergegeven in tabel 2.2.

Tabel 2.2 Stallingsvormen

Stallingsvorm	
Onbemenste bewaakte ² stallingen	Een stallingssysteem waarbij de reiziger de fiets of scooter betaald en overdekt kan stallen en het menselijk toezicht is vervangen door camera's en een toegangscontrolesysteem.
Bemenste bewaakte ² stalling	Een stallingsvorm met menselijk toezicht, waarbij een reiziger de fiets of scooter tegen betaling bewaakt en overdekt kan stallen.
Onbemenste gebouwde stallingen	Een onbewaakt ³ stallingssysteem waarbij de reiziger de fiets of scooter (overdekt) kan stallen. Deze vorm van stalling kan worden gerealiseerd in fietsflats, open kelders of op parkeerdaken.

² Een fietsenstalling die is afgesloten door middel van een betalings- of ontwaardingssysteem.

³ Een fietsenstalling zonder bemensing en niet afgesloten door middel van een betalings- of ontwaardingssysteem.

Onbemenste maaiveldstallingen

Een stallingsvorm waarbij de reiziger de fiets of scooter op een onbewaakte³, al dan niet overkapte en vrij toegankelijk plaatsen kan stallen, vaak gecombineerd met betaalde fietskluizen.

Om bij fietsenstallingen op maaiveldniveau in de behoefte om de fiets bewaakt te stallen te voorzien, worden vaak fietskluizen geplaatst. Dit zijn individueel af te sluiten fietsparkeerplaatsen. In principe is op elk station waar geen bewaakte fietsenstalling is ten minste één unit van vier fietskluizen aanwezig (ProRail, 2013).

Inpandige fietsenstallingen variëren in aantal fietsplaatsen. De kleinere fietsenstallingen bieden plaats aan ongeveer 150 - 200 fietsen (200 m²), terwijl de grotere stallingen ruimte hebben voor circa 7.000 fietsen (5.000 m²). De grootste fietsenstalling staat in Utrecht, met plaats voor 13.500 fietsen. De grotere inpandige stallingen zijn vaak bemenste bewaakte stallingen voorzien van cameratoezicht en een brandmeldinstallatie. Stallingen die onderdeel zijn van een alarmeringszone van het station, zijn ook voorzien van een ontruimingsalarminstallatie.

De kleinere stallingen zijn onbemenste bewaakte stallingen met cameratoezicht en een toegangscontrolesysteem. Een voorbeeld van een kleinere stalling is de 'zelf service fietsenstalling' (ZSF). Deze vorm wordt steeds meer gebruikt bij voornamelijk middelgrote stations. Een ZSF biedt plek aan tot ongeveer 1.500 fietsen (1.500 m²) en heeft een geautomatiseerde in- en uitgang met toegangspoortjes die met een OV-chipkaart geopend kunnen worden. De in- en uitgang wordt bewaakt met camera's. In de stalling zelf is niet altijd camerabewaking of een brandmeldinstallatie aanwezig.

2.1.3 Elektrificatie van tweewielers

De eerste elektrische fiets dateert uit 1890. De batterijtechnologie stond toen echter nog in de kinderschoenen, waardoor accu's zwaar, inefficiënt en beperkt waren in bereik. Hierdoor was er weinig belangstelling voor de elektrische fiets. In de 20^e eeuw vonden grote technologische doorbraken plaats waardoor de prestaties van elektrische fietsen sterk verbeterden. De belangstelling voor de elektrische fiets nam in de laatste decennia van de 20^e eeuw toe, vooral onder ouderen (nl.fiido.com, 2025). Begin 2000 werd de lithium-ion batterij geïntroduceerd. Deze nieuwe batterij zorgde voor een revolutie in de elektrische-fietsenindustrie, omdat ze lichter, duurzamer en krachtiger zijn dan andere batterijen. Ontwikkelingen op het gebied van verstedelijking, gezondere levensstijl en groene vervoersoplossingen zorgden voor een toenemende vraag naar elektrische fietsen. Naarmate de vraag toenam, zijn meerdere soorten elektrische fietsen op de markt gebracht voor verschillende doelgroepen (e-bikeaccu.nl, 2024). Denk aan de bakfiets voor ouders met kinderen, de mountainbike die als transportfiets kan worden gebruikt, maar ook de vervanger van de stadsfiets voor studenten en scholieren (BOVAG, 2019).

In 2020 heeft de coronacrisis gezorgd voor een enorme toename van de fietsverkopen. De verkoop van elektrische fietsen steeg met bijna 30 procent ten opzichte van het jaar ervoor. Door de beperkingen die de coronamaatregelen met zich mee brachten, was voor veel mensen fietsen een uitkomst voor het afleggen van korte afstanden en om in beweging te blijven (RAI Vereniging, 2021). Ook in 2024 is de elektrische fiets onverminderd populair: 48 % van het totaal aantal verkochte fietsen betrof een elektrische fiets (Stichting BOVAG-RAI, 2025). De populariteit van de elektrische fiets is ook terug te zien in het landelijk fietsenpark. In 2013 waren er naar schatting één miljoen elektrische fietsen in Nederland. In tien jaar tijd is dit aantal opgelopen tot 4,2 miljoen in 2023 (Stichting BOVAG-RAI, 2024).

In 2023 is de fatbike in korte tijd enorm populair geworden, mede door de helmplicht die vanaf 1 januari 2023 voor snorfietsen is ingesteld. Veel jongeren zijn overgestapt op de elektrische fiets, met name de fatbike, omdat ze daarop geen helm hoeven te dragen (ANWB, 2025a). In 2024 was 13 % van het totaal aantal verkochte fietsen een fatbike (Stichting BOVAG-RAI, 2025). Mogelijk komt er op korte termijn alsnog een helmplicht voor jongeren tot zestien jaar op fatbikes en andere elektrische fietsen (Nu.nl, 2025). Dit zou de populariteit van de fatbike mogelijk weer kunnen laten dalen.

De elektrificatie heeft ook de brom- en snorscootermarkt bereikt. Hoewel de totale markt voor brom- en snorscooters vanaf 2023 is gekrompen, mede door de invoering van de helmplicht, zijn elektrische brom- en snorscooters nog steeds in trek. In 2024 was gemiddeld 41 % van het totaal aantal verkochte brom- en snorscooters elektrisch aangedreven (Stichting BOVAG-RAI, 2025).

2.1.4 De accu's van elektrische fietsen en scooters

Een accu bestaat uit meerdere batterijcellen die met elkaar fungeren als één grote batterij. De accu's hebben een Batterij Management Systeem (BMS) dat de accu beschermt tegen oververhitting en overbelasting (ANWB, 2020).

Het vermogen van fietsaccu's

De capaciteit van de accu van een elektrische fiets wordt uitgedrukt in Wh (Wattuur) en geeft aan hoeveel energie er wordt opgeslagen. De meeste accu's hebben een capaciteit die ligt tussen de 300 en 750 Wh. Gemiddeld leveren deze genoeg energie voor een bereik van 30-60 (200 Wh) tot 75-150 kilometer (750 Wh) bij normaal gebruik (Consumentenbond, 2025). Er zijn ook elektrische fietsen die de mogelijkheid hebben om een extra accu aan te sluiten. De gezamenlijke capaciteit kan daarmee oplopen tot 1.250 Wh (Bosch, 2020).

Typen fietsaccu's

Vroeger werden veel elektrische fietsen uitgerust met een nikkel-cadmium-accu (NiCd-accu). Tegenwoordig zijn elektrische fietsen voorzien van een nikkel-metaal-hydride-accu of een lithium-accu.

NiMH (nikkel-metaal-hydride)

De nikkel-metaalhydride-accu (NiMH) is een oplaadbare cel op basis van nikkel en een metaalhydride. De NiMh-accu vraagt om een regelmatige lading, ook als de elektrische fiets (een langere tijd) stilstaat. Deze accu heeft in vergelijking met andere accu's een vrij hoge zelfontlading (dit wil zeggen dat de accu snel vanzelf leegloopt).

Li-ion (lithium-ion)

Lithium-ion is een verzamelnaam voor de vele accu's die lithium bevatten. Li-ion-accu's worden vaak in consumentenelektronica gebruikt vanwege hun hoge energiedichtheid per kilogram. Dergelijke accu's hebben een lage zelfontlading en een lange(re) levensduur dan NiMh-accu's. Li-ion-accu's zijn de meest gebruikte accu's op dit moment.

LiPo (lithium-polymer)

De LiPo-accu is nog kleiner dan de gemiddelde Li-ion-accu en gaat nog langer mee. Vanwege de hoge prijs zijn weinig elektrische fietsen uitgevoerd met deze accu.

LifePo4 (lithium-ijzer-fosfaat)

De nieuwste generatie accu is de LifePo4 (of een afgeleide hiervan: LP4, LFP, LFP4). Deze accu presteert nog beter dan de LiPo-accu. Momenteel is slechts een beperkt aanbod elektrische fietsen uitgerust met dit type accu (Fietstest.nl, 2019; Gazelle, 2020).

Solid state batterij (vaste-stof-batterij)

Momenteel wordt er gewerkt aan een nieuwe batterij, namelijk de solid-state-batterij. Een dergelijke batterij heeft een vaste elektrode en een vaste-stof-elektrolyt, terwijl Li-ion batterijen brandbare vloeistoffen bevatten. Solid-state-batterijen zijn daarmee een stuk brandveiliger dan de huidige Li-ion batterijen. Waarschijnlijk gaat het nog een aantal jaren duren voordat de solid-state-batterij voor elektrische tweewielers in massaproductie gaat (Bright.nl, 2023).

De plaats van de fietsaccu

De plek waar de fietsaccu zich bevindt, verschilt per fiets, maar de meest voorkomende plekken zijn onder de bagagedrager, in het frame (intube accu) of voor of achter de zitbuis (buis onder zadel). Hoewel bij de meeste elektrische fietsen de accu onder de bagagedrager zit, is de huidige trend is dat accu's steeds meer in de schuine framebuis worden verwerkt. Dit heeft voornamelijk te maken met een betere gewichtsverdeling (ANWB, 2025b). Bij fatbikes zijn accu's vaak geplaatst op het frame of onder het zadel of de buddyseat.

Scooteraccu's

Het vermogen van de accu's van elektrische scooters in Wattuur (Wh) wordt bepaald door het voltage (Volt) te vermenigvuldigen met het Ampère-uur (Ah) (fastfuriousscooters.nl, 2025). Elektrische scooters en brommers hebben vaak een accu met spanningswaarden van 48V, 60V of 72V (kwsseuren.nl, 2025). De capaciteit van de accu's varieert van 10 Ah tot 30+ Ah (ivamobility.com, 2025). Gemiddeld genomen ligt het vermogen van de accu van een elektrische scooter tussen de 480 Wh en 2.160+ Wh. Er worden ook elektrische scooters verkocht die de mogelijkheid hebben om een tweede accu toe te voegen. De accu van een elektrische scooter is vaak geplaatst onder de treeplank (voetplaat) of onder het zadel of de buddyseat (Univé, 2025).

Typen scooteraccu's

De twee meest voorkomende typen accu's zijn lithium-ion accu's en lood(zuur)accu's. De meeste moderne elektrische scooters hebben een lithium-ion accu. Deze accu's hebben een langere levensduur dan de lood(zuur)accu's en zijn lichter en krachtiger (scooterelektrisch.nl, 2025).

In dit onderzoek is uitgegaan van fietsen, fatbikes, bakfietsen en scooters met lithium-ion accu's, omdat deze, zoals aangegeven, het meest voorkomen.

2.2 Ontstaansoorzaken thermal runaway en kenmerken van brand van een Li-ion accu, (elektrische) fiets, bakfiets, fatbike en scooter

In deze paragraaf wordt gekeken naar het ontstaan van een brand in Li-ion accu's en naar de kenmerken van een brand van een Li-ion accu, (elektrische) fiets, bakfiets, fatbike en (elektrische) scooter. Er kan vrij veel spreiding zitten in de brandkenmerken van een Li-ion accu, (elektrische) fiets, bakfiets, fatbike en scooter. Wat voor soort, type en status van de tweewieler er brandt, kan daarom van invloed zijn op het brandverloop en de optredende effecten bij een brand in een stalling. Het kan bijvoorbeeld verschil maken of een niet-elektrische of een elektrische fiets brandt, hoe groot de accucapaciteit is, wat de state of charge van de accu is, et cetera. Hieronder is aandacht besteed aan de mogelijke spreiding

in de brandkenmerken en welke factoren daarop van invloed zijn. Dit geeft input voor de bepaling van de spreiding in het mogelijke brandverloop en de optredende effecten. Deze paragraaf bevat daarnaast aanvullende informatie die niet direct nodig is voor het maken van voorstellen voor maatregelen in dit onderzoek. Deze informatie kan echter van belang zijn voor ProRail zijn bij het construeren van brandveilige fietsenstallingen waar elektrische tweewielers (fietsen, fatbikes, bakfietsen, scooters) gestald kunnen worden. Denk bijvoorbeeld aan de yields van vrijkomende stoffen bij de verbranding van een tweewieler. Deze kunnen gebruikt worden wanneer gerekend wordt aan de beschikbare vluchtijd voor een specifieke stalling.

2.2.1 Incidenten met elektrische fietsen en scooters

Het NIPV heeft in 2023 een onderzoek uitgevoerd naar incidenten met light electric vehicles (LEV's). Dit zijn onder andere elektrische fietsen en scooters. In de periode 1 januari 2020 tot en met 31 december 2022 hebben in totaal 327 branden plaatsgevonden waarbij 696 LEV's betrokken waren. Bij 212 branden waren 551 elektrische scooters betrokken. De brand werd bij ongeveer een derde van de incidenten veroorzaakt door de accu van de scooter. In totaal waren 103 elektrische fietsen betrokken bij 77 branden, waarbij bijna 80 % van de branden werd veroorzaakt door de accu (NIPV, 2023a).

Accubranden kunnen zo hevig zijn, dat de brand niet beperkt blijft tot de betreffende fiets of scooter. Zo is in 2023 2 % van de woningbranden vermoedelijk veroorzaakt door accu's van elektrische fietsen of scooters. Dit is een verdubbeling ten opzichte van 2022 en gaat in 2023 om 1040 verzekeringsclaims (Verbond van Verzekeraars, 2024).

Intermezzo: een incident bij Domino's Pizza in Houten

Een van de grotere incidenten met een elektrische fiets betrof een brand bij een filiaal van Domino's Pizza in Houten in augustus 2020. De pizzeria maakte gebruik van elektrische fietsen om het eten te bezorgen. De accu's werden opgeladen in een speciale ruimte. Mede doordat een waarschuwingssysteem aangaf dat een accu het niet goed deed, besloot een medewerker deze naar buiten te gooien. In plaats van in het naastgelegen water, is de accu tussen de geparkeerde scooters en fietsen naast het pand terechtgekomen, waarna een grote brand ontstond. De pizzeria is volledig uitgebrand. Eén brandweerman raakte gewond en twee bewoners van de appartementen boven de pizzeria hadden rook ingeademd (AD, 2020). Dit incident is een voorbeeld van wat de gevolgen kunnen zijn van het in brand raken van een fiets met accu die tussen andere fietsen en scooters staat.



Figuur 2.1 Brand bij Domino's Pizza in Houten door accu elektrische fiets (foto: AD)

2.2.2 Ontstaansoorzaken thermal runaway

Li-ion-accu's kennen een relatief hoge energiedichtheid per kilogram en zijn mede daardoor populair. Er zitten ook gevaren aan Li-ion-accu's, waarvan het voornaamste een zogeheten thermal runaway is. Tijdens het opladen en ontladen van lithium-ion accu's vinden voortdurend elektrochemische reacties plaats, waardoor energie vrijkomt of wordt opgenomen. Het inwendige van de batterijcel is ontworpen om onder normale gebruiksomstandigheden tijdens deze elektrochemische reacties stabiel te blijven. Daartoe wordt onder andere tijdens de eerste laadcyclus een beschermingslaagje (Solid Electrolyte Interphase) op de anode (minpool) in de batterijcel gevormd; dit laagje is noodzakelijk om de stabiliteit te waarborgen (Takenaka et al., 2021).

Wanneer echter de inwendige componenten of het beschermingslaagje (SEI) beschadigd raken, wordt het elektrochemische proces verstoord. Dit houdt in dat ongewenste chemische reacties het gewone proces verdringen. De ongewenste processen kunnen al beginnen bij een temperatuur vanaf 60 °C. Dit zijn exotherme reacties waarbij hitte vrijkomt, evenals een grote hoeveelheid toxische en brandbare gassen. Hierdoor raakt het inwendige van de batterij nog verder beschadigd en warmt de accu op (Wu, 2021). Zodra een temperatuur rond de 200 °C wordt bereikt, afhankelijk van het subtype, gaan de exotherme reacties en hitteontwikkeling zich zodanig versterken dat de situatie zichzelf in stand houdt en verergert. Vanaf dit kantelpunt is er sprake van een thermal runaway (Brans, 2023a). In essentie houdt het ongewenste proces vanaf dat moment zichzelf in stand en nemen de ongewenste reacties (met hittevorming en drukopbouw door de gevormde gassen) gestaag toe. De verhitte batterijcel breekt als gevolg hiervan open, waardoor de brandbare en toxische gassen vrijkomen. De snelheid waarmee de gassen vrijkomen, is vergelijkbaar met het ontsnappen van gas uit een druktank. In aanvulling hierop zal verdamping van de elektrolyt tot meer gasvorming leiden (Jin et al., 2021). Verdampte elektrolyt is brandbaar en kan worden verward met stoom van verdampt bluswater.

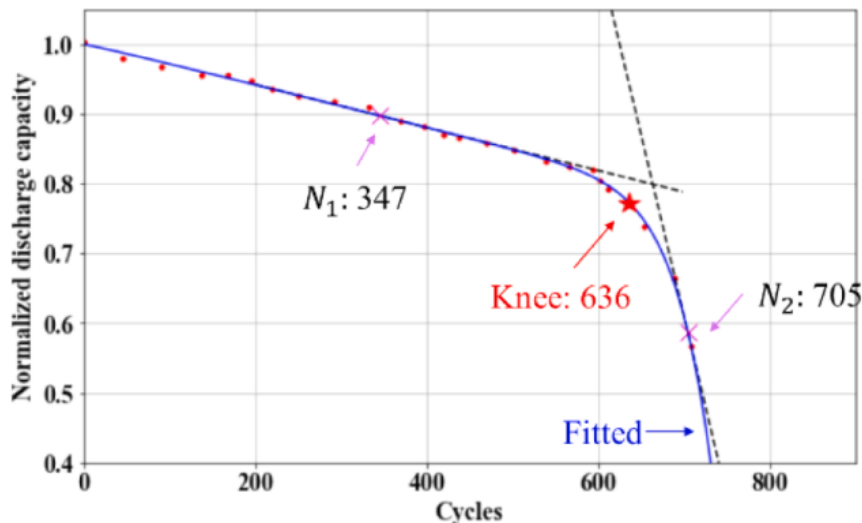
Door thermische propagatie (aanstraling van naburige batterijcellen) zal het proces zich uitbreiden naar andere batterijcellen, waardoor deze opeenvolgend ook in thermal runaway raken (Brans, 2023b). Dit proces kan voortduren totdat de gehele accu in thermal runaway is.

Ontstaansoorzaken

Li-ion accu's hebben operationele grenzen waarbinnen ze gebruikt dienen te worden. Als ze buiten deze grenzen (en dus verkeerd) gebruikt worden, kunnen ze zoals hiervoor omschreven in thermal runaway raken. Hierbij moet bijvoorbeeld gedacht worden aan blootstelling aan te hoge of lage temperatuur, te snel laden, overladen, te diep ontladen of fysiek beschadigd raken. Interne defecten kunnen ook de oorzaak zijn van een thermal runaway (NIPV, 2023b). Dit kan een defect in een enkele cel of module zijn, maar ook een defect in het BMS dat er in principe voor zorgt dat de batterij niet buiten de operationele grenzen komt.

Een andere faaloorzaak is veroudering: batterijen degenereren van nature met het aantal laadcycli dat ze hebben ondergaan. Hierdoor is er een grotere kans op falen. Een laadcyclus bestaat uit het (volledig) laden en ontladen van een batterij. Als er gekeken wordt naar het verloop van de capaciteit van batterijen met het aantal laadcycli, vertoont dit vaak een 'knee', het punt waarna de degeneratie sneller gaat (Diao et al., 2022). Zie hiervoor ook figuur 2.2. Hier is te zien dat de relatieve capaciteit (de capaciteit ten opzichte van de fabriekscapa-

citeit, die op 1 is gezet) tot aan de *knee* gestaag lineair afneemt. Bij de *knee* gaat de degeneratie opeens veel sneller. In dit specifieke geval gebeurt dit na ongeveer 600 laadcycli, maar dit aantal is afhankelijk van het batterijtype. Aan de buitenkant is niet te zien dat een batterij degenereert en mogelijk zal falen, wat preventie van een thermal runaway bemoeilijkt.



Figuur 2.2 Na een bepaald aantal laadcycli [N_x] vertoont de degeneratie van batterijen een 'knee', waarna het degenereren sneller gaat (Diao et al., 2022)

Faalkans

Er is onvoldoende informatie gevonden om de faalkans van Li-on fietsaccu's betrouwbaar mee te kunnen bepalen. De website van Battery University vermeldt wel het een en ander over de faalkans van dit type batterijen. De faalkans zou kleiner zijn dan één per miljoen in consumentenelektronica. Li-ion batterijen die voor industriële doeleinden worden gebruikt, zouden een faalkans hebben van minder dan één per tien miljoen (Battery University, z.d.). Een onderbouwing van deze getallen ontbreekt echter.

Het RIVM heeft een rekenmethode ontwikkeld om de risico's van energieopslagsystemen en grote opslagen van batterijen voor de omgeving te berekenen (Versluis et al., 2024). Hierin worden faalfrequenties per cel genoemd die variëren van $2,38 \times 10^{-10}$ tot $1,24 \times 10^{-11}$ voor een energieopslagsysteem en 1×10^{-8} tot 1×10^{-10} voor grootschalige opslag. De omstandigheden waarin deze cellen zich bevinden verschillen echter sterk van fietsaccu's. Een fietsaccu kan veelal uit de fiets gehaald worden, de accu of de fiets kan vallen en bij het rijden van de fiets kunnen er trillingen in de accu ontstaan. Allemaal redenen waardoor de faalkans anders kan zijn.

DNV-GL heeft schattingen gemaakt van de faalfrequentie van lithium-ion energieopslagsystemen door betrouwbaarheidsgegevens, faalkansen en veiligheidssystemen uit de nucleaire, petrochemische en olie- en gasindustrie te analyseren (DNV-GL, 2019). Op basis hiervan is de faalfrequentie geschat van Li-ion batterijmodules. De geschatte faalfrequentie voor een batterijmodule voorzien van onder meer een effectief batterijmanagementsysteem (BMS) en circuitonderbreking bedraagt $1,4 \times 10^{-4}$ per jaar. Indien elke vorm van veiligheidssysteem, monitoring of circuitonderbreking ontbreekt, kan de geschatte faalfrequentie in het uiterste geval oplopen tot $2,3 \times 10^{-2}$ per jaar. Ook voor dit onderzoek geldt dat de omstandigheden (batterijmodules op schepen) niet overeenkomen met die van een fietsaccu. De faalfrequentie van batterijmodules op schepen is naar verwachting lager dan die van fietsaccu's.

2.2.3 Brandkenmerken Li-ion-accu

In deze paragraaf worden de brandkenmerken van Li-ion accu's beschreven. Deze brandkenmerken worden later gebruikt om het brandverloop, de mogelijke scenario's en de benodigde maatregelen te bepalen. Een thermal runaway van een accu kan de volgende effecten geven:

- > toxische en brandbare gaswolk en roet
- > accubrand
- > dampwolkexplosie of wolkbrand .

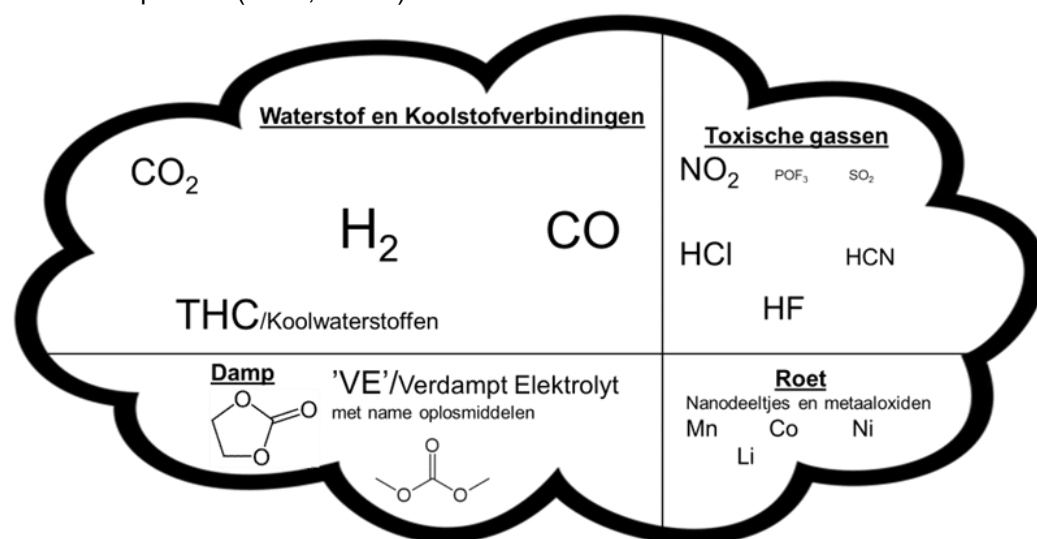
Deze effecten worden hieronder nader beschreven. Een uitgebreide beschrijving inclusief alle berekeningen is te vinden in bijlage A.

Vrijkomen van een toxisch en brandbaar gasmengsel

Tijdens een thermal runaway komt een toxisch en brandbaar gasmengsel vrij dat grofweg bestaat uit vier soorten componenten:

- > waterstof en koolstofverbindingen
- > toxische gassen
- > damp
- > roet.

Een schematische weergave van de vier soorten componenten en de vrijkomende stoffen is weergegeven in figuur 2.3. Voor deze figuur geldt dat des te groter de letters, des te groter het aandeel van deze stof is in het gasmengsel. Er komen gassen vrij die zowel zwaarder als lichter dan lucht zijn. Naar verwachting kunnen gassen zich daarom door de gehele ruimte verspreiden (NIPV, 2023b).



Figuur 2.3 Brandbaar en toxisch gasmengsel thermal runaway

In het gasmengsel dat vrijkomt, kan zo'n 15 – 45 Vol.% bestaan uit het uiterst brandbare waterstof (Christensen, 2022; DNV-GL, 2019; Golubkov et al., 2014). Daarnaast kunnen er verschillende andere brandbare stoffen aanwezig zijn. Welke gevolgen het heeft wanneer deze brandbare gassen (vertraagd) ontsteken, wordt hieronder nader beschreven onder de kopjes 'Accubrand' en 'dampwolkexplosie / wolkbrand'.

Ondanks het vrijkomen van zeer toxische gassen zoals HF, verschilt de algehele toxiciteit van een accubrand niet significant van die van een plasticbrand (DNV-GL, 2019). Er kan

redelijk wat spreiding zitten in de hoeveelheid vrijkomende stoffen. Hier moet rekening mee gehouden worden wanneer gerekend wordt aan de vlucht- en overlevingsmogelijkheden van personen in een specifieke stalling.

Roet

Tijdens de thermal runaway wordt ook (zwarte) roet verspreid, dat bestaat uit nanodeeltjes van (zware) metalen en metaaloxiden (Held et al., 2022). Door onder meer deze roetdeeltjes blijven de in pandige ruimte en het gebruikte bluswater ook na het incident vervuild. De achtergebleven roetlaag in de ruimte kan namelijk een verhoogde concentratie zware metaaloxiden en fluoriden bevatten.

Uit praktijkmetingen blijkt dat het vervuilde bluswater door de gevormde oxiden een sterk verhoogde of verlaagde pH-waarde kan hebben. Dit is een belangrijk aandachtspunt voor de inzet van de brandweer (NIPV, 2023b). Het is daarnaast ook een aandachtspunt voor het herstel van de stalling na een brand.

Accubrand

Tijdens een accubrand kunnen met tussenpozen fakkels en explosies plaatsvinden door het opeenvolgend openbreken of exploderen van individuele accucellen. Het brandgedrag van een enkele accucel kan namelijk worden beschreven in vier fasen (Wang et al., 2019):

- > verhitting van de accucel tot het moment van ontsteking,
- > het openbreken van de accucel gepaard met een fakkelt, gevolgd door
- > een stabiele brandfase en eindigend met
- > een afnemende fase.

Doordat tijdens de brand de hitte zich verder over accucellen verspreidt, raken telkens nieuwe batterijcellen in thermal runaway. Zo kan binnen enkele minuten een beginnende brand van een of enkele cellen zich uitbreiden tot de gehele accu. Het brandgedrag kan sterk verschillen per accu en per brand. Een bijkomend effect van een brand in accu kan zijn dat losse 'cellen' van de accu al brandend kunnen wegschieten.

De vrijkomende energie bij een brand van een 500 Wh fietsaccu wordt geschat op ongeveer 30 MJ. De bijdrage van de accu aan het piek brandvermogen wordt voor dit onderzoek geschat op ongeveer 100 kW voor een 500 Wh accu. Belangrijk bij het piek brandvermogen is de snelheid waarmee de beschikbare energie in de accucellen vrijkomt. Dit is mede afhankelijk van de reden waarom de accu in thermal runaway komt. Het Fire Safety Research Institute heeft testen gedaan met elektrische scooters en losse accupakketten (Fleischmann et al., 2025). Een los accupakket van 1.200 Wh is in thermal runaway gebracht met twee verschillende methoden: verhitten en overladen. Bij het scenario met verhitten was het piekbrandvermogen 410 kW op 114 seconden nadat de eerste tekenen van thermal runaway zichtbaar waren. Bij overladen was het piek brandvermogen 1.600 kW na 14 seconden. Het piek brandvermogen bij overladen is niet alleen 4 keer hoger, maar ook vele malen sneller.

Bestrijden (blussen) van een brandende accu

Li-ion-accu's in thermal runaway zijn lastig te bestrijden en te stabiliseren. Dit wordt onder meer veroorzaakt doordat een thermal runaway zichzelf in stand houdt, en ook door het feit dat blusmiddelen amper bij de accucellen kunnen komen, omdat deze zijn beschermd door de behuizing van de accu. Een effectieve koeling wordt bereikt als het blusmiddel (koelmiddel) de accucellen zelf kan bereiken, en dus in de accu zelf komt. Wanneer de accu geen

voorzieningen heeft om te zorgen dat er blusmiddel in de accu ingebracht kan worden, is onderdompelen gedurende lange tijd (meerdere uren tot enkele dagen) de meest succesvolle optie om een brandende accu te stabiliseren (Instituut Fysieke Veiligheid, 2020). Voor kleine blusmiddelen geldt dat deze veelal enkel de vlammen tijdelijk weg kunnen nemen, maar dat ze niet in staat zijn om een brandende accu te stabiliseren en herontsteking te voorkomen. Bij een accubrand kunnen zich plotselinge effecten voordoen, zoals een fakkel, steekvlam of een wegschietende accucel. Dit maakt dat een bluspoging met een klein blusmiddel risicovol kan zijn.

Dampwolkexplosie / wolkbrand

Zoals eerder aangegeven, komt tijdens een thermal runaway een toxisch en brandbaar gasmengsel vrij. Wanneer dit gasmengsel niet direct ontsteekt, kan het mengen met lucht in de stalling en op een later moment ontsteken. Het gaat hierbij dan om een dampwolkexplosie of wolkbrand. Hieronder is nader uiteengezet welke effecten kunnen optreden bij een vertraagde ontsteking. Er is daarbij uitgegaan van één accu die in thermal runaway raakt en een vertraagde ontsteking heeft. Gelijktijdig in thermal runaway raken van twee verschillende accu's zonder externe factoren (zoals een brand die zorgt voor directe ontsteking) is als niet realistisch beschouwd.

De hoeveelheid en samenstelling van de vrijkomende gassen uit een accu zijn bepaald op basis van de RIVM rekenmethode omgevingsveiligheid voor lithiumhoudende energiedragers voor een LFP⁴-accu (worst-case voor het aandeel brandbare gassen in het vrijkomende gasmengsel) (Versluis et al., 2024). Vervolgens is gekeken naar de optredende effecten in het geval van een vertraagde ontsteking in een fietsenstalling. De effecten zijn mede afhankelijk van accucapaciteit en gebouwkenmerken. Er is uitgegaan van de volgende uitgangspunten:

- > accucapaciteit van 500 Wh (fietsaccu) of 5.600 Wh (de grootste scooteraccu uit de calorimeter experimenten) (Wolfs & Van Liempd, 2025a)
- > plafondhoogte van 2,75 m (worst case voor inpandige stallingen van ProRail, waar de plafondhoogte 2,75 – 3 m is)
- > verschillende groottes van de fietsenstalling
 - oppervlakte van 200 m² en volume van 550 m³
 - oppervlakte van 1.500 m² en volume van 4.125 m³
 - oppervlakte van 5.000 m² en volume van 13.750 m³
- > de stalling is deels open of nagenoeg volledig besloten.

Ten aanzien van het mengen van een vrijkomend gasmengsel en de optredende effecten kunnen zich verschillende situaties voordoen. De twee uitersten hiervan zijn:

1. Het vrijkomende brandbare gasmengsel mengt volledig met de lucht in de fietsenstalling.
2. Het vrijkomende brandbare gasmengsel mengt met de omgevingslucht tot het mengsel dat de hoogste vrijkomende energie afgeeft bij verbranding.

Deze twee situaties worden hieronder nader beschreven.

Situatie 1: Het vrijkomende brandbare gasmengsel mengt volledig met de lucht in de fietsenstalling

De grootste accu met een capaciteit van 5,6 kWh genereert een hoeveelheid brandbaar gas dat 0,63 % van het volume van de kleinste stalling (200 m²) beslaat. De berekende LEL-waarde van het gasmengsel is 5,1 Vol. % (onderste explosiegrens, de minimale concentratie brandbaar gas waarbij nog een explosie mogelijk is); deze waarde wordt bij lange na niet

⁴ Lithium-ijzer-fosfaat.

gehaald. Bij volledige menging van het vrijkomende gas met de omgevingslucht in de fietsenstalling is er dus geen gevaar voor explosies.

Situatie 2: Het vrijkomende brandbare gasmengsel mengt met de omgevingslucht tot het mengsel dat de hoogste vrijkomende energie afgeeft bij verbranding

Volledige menging met de lucht in de fietsenstalling zal niet altijd het geval zijn. Een gasmengsel kan al ontsteken voordat het volledig gemengd is. Voor deze situatie is uitgegaan van een mengsel van vrijkomend brandbaar gas met lucht uit de fietsenstalling dat de hoogste vrijkomende energie afgeeft: een ideale menging van brandbare gassen en een deel van de omgevingslucht. Dit is voor deze situatie gedaan voor twee accucapaciteiten: 500 Wh (fietsaccu) en 5.600 Wh (scooteraccu).

Uit de berekeningen van de gevolgen van een explosie van de gaswolk blijkt dat zware schade aan constructies niet of slechts zeer lokaal (binnen enkele meters) te verwachten is. In de meeste gevallen zal hooguit lichte schade ontstaan aan (constructie)onderdelen van de stalling. Er kan wel ruitbreuk optreden. Als zich binnen 5 meter van de explosie mensen bevinden, is te verwachten dat er mogelijk doden of gewonden vallen. Wanneer een accu af gaat blazen als gevolg van een thermal runaway, zullen mensen echter in veel gevallen afstand nemen. Daarom wordt in principe niet verwacht dat mensen zich binnen beperkte afstand van de explosie bevinden.

2.2.4 Brandkenmerken (elektrische) fiets

Een (elektrische) fiets bevat diverse brandbare onderdelen. Deze brandbare onderdelen kunnen zijn:

- > de binnen- en buitenband
- > diverse kunststof onderdelen zoals de kettingkast, jasbeschermers, het zadel, fietslampen, handvatten et cetera
- > eventueel fietstassen, een krat of kinderzitje
- > accu en elektromotor (en dan met name de kunststof onderdelen van de motor).

Exacte gewichten van de onderdelen zijn niet bekend. Uit navraag bij een fietsfabrikant volgt dat er ongeveer drie kilo aan kunststof of andere brandbare onderdelen aan een niet-elektrische fiets zonder accessoires zit. Voor een elektrische fiets zou daar nog drie kilo bijkomen, wat het totaal voor een elektrische fiets op 6 kg aan brandbare onderdelen brengt.

Bij de calorimeter experimenten is het brandgedrag van verschillende (elektrische) fietsen bepaald (Wolfs & Van Liempd, 2025a). Bij deze experimenten varieerde het piek brandvermogen van 60 kW (niet-elektrische fiets zonder accessoires) tot 807 kW (elektrische fiets met kinderzitje). De accessoires op de fiets leverden een belangrijke bijdrage aan het piek brandvermogen. De vrijgekomen energie varieerde tijdens deze testen van 27 MJ (elektrische fiets met twee accu's in het frame) tot 212 MJ (elektrische fiets met kinderzitje). De vrijgekomen energie van de niet-elektrische fiets zonder accessoires was tijdens deze experimenten onvoldoende betrouwbaar. Bij deze experimenten was vaak maar een deel van de fiets verbrand (de voor- of de achterzijde).

IFAB (een brandlab uit Berlijn) stelt op basis van eigen experimenten een piek brandvermogen vast van 900 kW na 45 seconden (Lakkonen, 2022). De vrijkomende energie die IFAB voorstelt is 68 MJ. Het ging om een fiets zonder accessoires en een accu van 660 Wh die geplaatst is in het frame van de fiets. De wijze ontsteking is onbekend. Vermoedelijk is dit overladen geweest, omdat het gaat om een relatief snel en hoog piek brandvermogen.

Het piek brandvermogen en de vrijkomende energie zijn uiteindelijk afhankelijk van de onderdelen van een fiets die verbranden en hoe snel ze verbranden. Uitgaande van 3 en 6 kg brandbare (kunststof) onderdelen voor respectievelijk een niet-elektrische en een elektrische fiets zonder accessoires en een verbrandingswarmte van 27,5 MJ/kg (Society of Fire Protection Engineers, 2016, table A.40) geeft dit een vrijkomende energie van 82,5 MJ (niet-elektrische fiets) en 165 MJ (elektrische fiets) wanneer alle brandbare onderdelen van de fiets verbranden. De snelheid van verbranding bepaalt vervolgens hoe snel deze energie vrijkomt en wat het piek brandvermogen is. Overladen van een accu geeft bijvoorbeeld veelal een sneller en hoger piek brandvermogen dan bij externe opwarming van de accu (Fleischmann et al., 2025). En wanneer meerdere fietsen gelijktijdig branden, geven ze sneller energie af dan wanneer een fiets alleen brandt (Wolfs & Van Liempd, 2025b).

Voor wat betreft de vrijkomende stoffen bij brand kan uitgegaan worden van de yields in tabel 2.3. Yields geven de massa gas of roet aan die vrijkomt per gram verbrande fiets. Deze yields zijn bepaald op basis van experimenten (Wolfs & Van Liempd, 2025a) en gelden voor goed verluchte omstandigheden. Tijdens de experimenten was de hoeveelheid gemeten HCN (waterstofcyanide) en NO₂ (stikstofdioxide) zo klein, dat de bijdrage ervan aan de toxiciteit te verwaarlozen is ten opzichte van de in tabel 2.3 vermelde gassen.

Tabel 2.3 Yields vrijkomende stoffen bij verbranding van een elektrische fiets

Stof	Elektrische fiets Yield [g/g]	Niet-elektrische fiets Yield [g/g]
CO koolmonoxide	0,033	0,033
HF waterstoffluoride	0,002	-
NO stikstofmonoxide	0,003	0,0009
Roet	0,1	0,1

Tijdens experimenten is gezien dat een accu in het frame van een fiets lastig van buitenaf te ontsteken is (Wolfs & Van Liempd, 2025a). Bij de twee fietsen met accu in het frame is gedurende 6 tot 11 minuten een gasbrander op de accu gezet, voordat deze in thermal runaway kwam. Ook is gezien dat accucellen met kracht wegschieten en een nabrandduur hebben van meer dan 10 seconden (Wolfs & Van Liempd, 2025a). Tijdens de experimenten met een stallingssituatie is gezien dat cellen soms meer dan 2,15 meter (de breedte van het pad in een stalling) wegschieten en een langere nabrandduur hebben dan 10 seconden (Wolfs & Van Liempd, 2025b). Met een dergelijke afstand en nabrandduur zou een accucel een secundaire brand kunnen veroorzaken, zowel in de rij waar de brand is als naar een andere rij.

2.2.5 Brandkenmerken fatbike

Er zijn geen experimenten voor het bepalen van het brandvermogen van fatbikes gevonden in de literatuurverkenning. Er zijn wel experimenten gedaan met fatbikes in een stallingssituatie, maar daarin is het brandvermogen niet gemeten (Wolfs & Van Liempd, 2025b). Op basis van beelden van deze experimenten en een vergelijking van het vlamvolume met het vlamvolume van elektrische fietsen en scooters waarvan het

brandvermogen wel bepaald is, wordt het piek brandvermogen van een fatbike geschat op 750 – 1.000 kW. De fatbike bij deze experimenten had twee accu's van elk 750 Wh en zowel een voor- als achterzitje. Vanwege de bredere banden en de zitjes (met schuimkunststof) wordt verwacht dat de totale vrijkomende energie van een fatbike aanmerkelijk hoger is dan die van een elektrische fiets. Ten opzichte van een scooter heeft een fatbike wel grotere wielen, maar beduidend minder kunststof kappen. De totale vrijkomende energie zal daardoor naar verwachting niet groter zijn dan van een basismodel scooter. Op basis hiervan wordt verwacht dat een fatbike ongeveer 250 – 500 MJ aan energie afgeeft bij een brand.

2.2.6 Brandkenmerken bakfiets

Er zijn geen experimenten voor het bepalen van het brandvermogen van bakfietsen gevonden in de literatuurverkenning. Naast de brandbare onderdelen die een gewone (elektrische) fiets heeft, heeft een bakfiets, zoals de naam al zegt, een bak die veelal van hout of kunststof is. Volgens een expert-inschatting door het NIPV zal een bakfiets met een houten bak een lager piek brandvermogen hebben dan een fatbike, en een bakfiets met een kunststof bak een piek brandvermogen dat ongeveer gelijk is. Een kunststof bak zal naar verwachting sneller bijdragen aan de brand dan een houten bak; daarnaast kan een kunststof bak een 'plasbrand' geven als gevolg van smeltend kunststof. Een dergelijke plasbrand kan ervoor zorgen dat de brand zich sneller uitbreidt over de bak dan bij een houten bak het geval is. De totale vrijkomende energie zal voor beide typen bakken naar verwachting vrijwel gelijk zijn. Kunststof heeft een verbrandingswarmte (vrijkomende energie per kg verbrand materiaal) die grofweg twee keer zo hoog is als die van hout (Society of Fire Protection Engineers, 2016, appendix A). Uit navraag bij enkele fabrikanten blijkt dat het gewicht van een kunststof bak echter zo'n 2 – 3 keer lager is dan die van een houten bak. De inschatting van de onderzoekers van het NIPV is dat de totale vrijkomende energie ongeveer overeen zal komen met die van een fatbike die in brand staat.

2.2.7 Brandkenmerken (elektrische) scooter

Bij de calorimeter experimenten is het brandgedrag van verschillende (elektrische) scooters bepaald (Wolfs & Van Liempd, 2025a). Het brandvermogen varieerde van ruim 1.000 (mid-range model elektrische scooter zonder accessoires) tot bijna 3.000 kW (high-end model elektrische scooter met windscherm en topkoffer). Een mid-range model benzinescooter zonder accessoires had een piek brandvermogen van bijna 2.600 kW. De totale vrijkomende energie varieerde van 497 MJ (basismodel elektrische scooter) tot 939 MJ (benzinescooter). De high-end elektrische scooter met windscherm en topkoffer heeft met 914 MJ de hoogste totale vrijkomende energie van de elektrische scooters. Een elektrische scooter heeft naar verwachting geen hoger piek brandvermogen of hogere vrijkomende energie dan een benzinescooter bij een brand. Het brandgedrag kan wel anders zijn, bijvoorbeeld door andere hoeveelheden vrijkomende gassen of de effecten van een accu in thermal runaway (tegenover een mogelijke plasbrand van benzine).

Voor wat betreft de vrijkomende stoffen bij brand kan voor een elektrische scooter en benzinescooter uitgegaan worden van de yields in tabel 2.4. Deze yields zijn bepaald op basis van de eerder genoemde experimenten (Wolfs & Van Liempd, 2025a) en gelden voor goed verluchte omstandigheden. Tijdens de experimenten was de hoeveelheid gemeten HCN en NO₂ (stikstofdioxide) van een brandende elektrische scooter dermate klein, dat de bijdrage hiervan aan de toxiciteit te verwaarlozen bleek ten opzichte van de in tabel 2.4 vermelde gassen. De hoeveelheid gemeten NO bij de benzinescooter was verwaarloosbaar

voor wat betreft de toxiciteit ten opzichte van de andere gassen. De meetdata van HF waren onbetrouwbaar, zodat er geen yield van HF genoemd kan worden. Bij de benzinescooter was de meting van CO ook onvoldoende betrouwbaar, waardoor er evenmin een yield van gegeven kan worden. Voor zowel de benzinescooter als de elektrische scooter geldt dat de ontbrekende yields toegevoegd kunnen worden (op basis van andere onderzoeken / literatuur) wanneer er gerekend wordt aan de fysiologische effecten van de toxische gassen op mensen.

Tabel 2.4 Yields vrijkomende stoffen bij verbranding van een elektrische scooter en benzinescooter

Stof	Elektrische scooter Yield [g/g]	Benzinescooter Yield [g/g]
CO koolmonoxide	0,037	Niet bekend
NO stikstofmonoxide	0,0022	0,0022
HF waterstoffluoride	Niet bekend	Niet bekend
Roet	0,126	0,106

Tijdens de experimenten is incidenteel gezien dat accucellen met kracht wegschieten en een nabrandduur hebben van meer dan 10 seconden (Wolfs & Van Liempd, 2025a). Er zitten echter grote verschillen tussen verschillende soorten elektrische scooters ten aanzien van het wegschieten van cellen en de nabrandduur. Bij twee van de zes geteste scooters zijn geen cellen weggeschoten en heeft de accu enkel afgeblazen. Bij drie van de zes scooters zijn cellen weggeschoten, maar was de nabrandduur minder dan tien seconden, wat naar verwachting een te korte brandduur is om secundaire branden te veroorzaken. Bij één scooter is tweemaal een cel weggeschoten die een langere nabrandduur dan 10 seconden had. Afhankelijk van de plek waar deze cel zou neerkomen, zou dit een secundaire brand kunnen veroorzaken.

2.2.8 Samenvatting

Op basis van de analyse van het brandgedrag van (elektrische) fietsen, fatbikes, bakfietsen en (elektrische) scooters kan het volgende vastgesteld worden:

- > De toevoeging van een accu aan een fiets geeft een hoger piek brandvermogen en een hoger totale energie die vrijkomt. Er komen daarnaast meer toxische gassen vrij wanneer een elektrische fiets brandt, dan wanneer een niet-elektrische fiets in brand staat.
- > Een accu in thermal runaway kan verschillende effecten geven, zoals bijvoorbeeld het afblazen of wegschieten van cellen. Welke effecten zich voordoen, kan per situatie verschillen en is niet te voorspellen. Wanneer de effecten exact plaatsvinden, is eveneens onvoorspelbaar. Het blussen van een accu in thermal runaway is daarnaast lastig. Dit tezamen maakt dat een bluspoging door een aanwezige of personeel in de stalling niet gewenst is. Dit geldt wanneer de signalen van een thermal runaway zichtbaar zijn (bijvoorbeeld het afblazen van rook, steekvlammen of wegschieten van accucellen). Bij een beginnende brand waarbij deze signalen niet te zien zijn, kan een bluspoging uitgevoerd worden.
- > Een elektrische scooter heeft geen hoger piek brandvermogen of totale vrijkomende energie dan een vergelijkbare benzinescooter. Het brandgedrag kan wel anders zijn,

bijvoorbeeld door andere hoeveelheden vrijkomende stoffen of de effecten van een accu in thermal runaway.

- > Bakfietsen en fatbikes zitten voor wat betreft het verwachte piekbrandvermogen en hoeveelheid vrijkomende energie tussen fietsen en scooters in. Scooters hebben van de beschouwde tweewielers het hoogste piek brandvermogen en de meeste vrijkomende energie.

2.3 Brandverloop bij brand in een fietsenstalling

In een fietsenstalling kunnen niet alleen elektrische fietsen, maar ook niet-elektrische fietsen, fatbikes, bakfietsen, brommers en scooters staan. Verder kunnen er zich overige ruimtes bevinden met daarin bijvoorbeeld een kantoor(tje), een fiets- en servicewinkelwinkel, beheerdersruimte of pantry. In een stalling staan de verschillende (elektrische) tweewielers veelal in een bepaalde stallingssituatie, welke allemaal een eigen brandverloop kennen. Van de volgende (stallings)situaties is het mogelijke brandverloop nader bekeken:

- > (elektrische) fietsen in een dubbelzijdig fietsparkeersysteem met twee stallingshoogtes
 - in een maaiveldstalling
 - in een fietsflat
 - in een inpandige stalling
- > bakfietsen op de vloer
- > fatbikes op de vloer
- > (elektrische) scooters op de vloer
- > overige ruimtes / functies.

Per situatie wordt op hoofdlijnen omschreven welk brandverloop te verwachten is bij een brand in een bepaalde stallingssituatie. Er is echter nooit sprake van één soort brand per stallingssituatie. In een nagenoeg lege fietsenstalling zal een brand immers anders verlopen dan in een volle stalling. Ook het percentage elektrische fietsen is van invloed op het brandverloop. Er is daarom ook beschreven welke mogelijke spreiding er kan zijn in het brandverloop en welke factoren daarop van invloed zijn. Dit helpt ProRail om een risicoafweging te kunnen maken voor specifieke stallingen (met een combinatie van het verwachte brandverloop, de optredende effecten en de gewenste doelstellingen of acceptabel geachte effecten).

2.3.1 (Elektrische) fietsen

Er is een brandexperiment uitgevoerd voor ProRail waarin 50 % van de aanwezige fietsen elektrisch was. Dit experiment had de volgende kenmerken:

- > Er was sprake van een dubbelzijdig fietsparkeersysteem met twee stallingshoogtes (de hart-op-hart-afstand van de fietsen was 37,5 cm). Om minder kracht nodig te hebben om fietsen bovenin te plaatsen, waren gasveren geplaatst bij elke stallingsplek in de bovenste stallingshoogte.
- > De onderste stallingshoogte was voor elektrische fietsen (500 Wh accu 100 % State of Charge (SOC), onder bagagedrager), de bovenste stallingshoogte voor niet-elektrische fietsen.
- > Er stonden 7 fietsen naast elkaar, met in totaal 28 fietsen.
- > De brand begon bij een elektrische fiets met kinderzitje in het midden van de onderste rij. De overige fietsen hadden geen accessoires, met uitzondering van de vier buitenste fietsen, die waren voorzien van een fietstas.
- > Het plafond van de stalling was 2,75 meter hoog.

Observaties uit het brandexperiment met 50 % elektrische fietsen

De eerste 8 minuten brandde één fiets. Daarna breidde de brand zich snel uit. Na 10 minuten brandden 14 fietsen en na 12 minuten brandden alle 28 fietsen. Toen het experiment werd beëindigd na 35 minuten, waren de fietsen vrijwel volledig opgebrand. Het plafond wat vlak boven de fietsen aanwezig is, het stallen op 2 hoogtes boven elkaar en de nabijheid van de fietsen tot elkaar speelde een grote rol in de snelheid van de branduitbreiding.

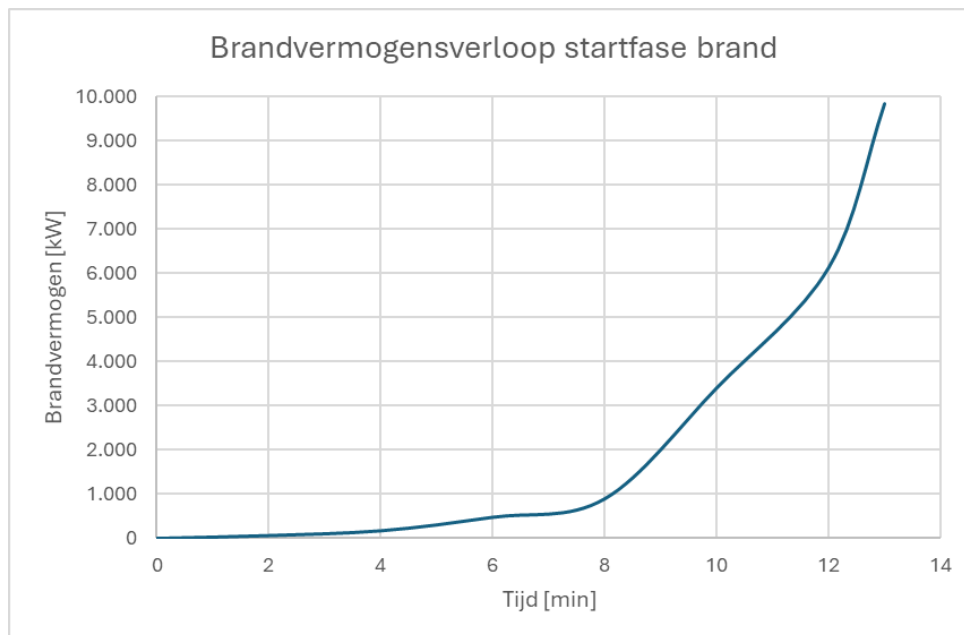
Op basis van de gemeten warmtestraling tijdens het experiment wordt verwacht dat een brand zich over een gangpad heen uit zou hebben kunnen breiden naar een andere rij in de stalling. Zonder maatregelen zou dan uiteindelijk de gehele stalling uitbranden. Ook als gevolg van accucellen die al brandend wegschieten zou een brand zich uit kunnen breiden naar een andere rij.

Tijdens het experiment is gezien dat (delen) van gasveren van het fietsparkeersysteem met grote kracht wegschieten. Hoe ver deze gasveren komen en welke gevolgen het wegschieten kan hebben, is niet bekend.

De temperatuurmetingen waren voor een belangrijk deel onbetrouwbaar tijdens dit experiment. De hoogst gemeten temperatuur was 910 °C op het moment dat de metingen nog betrouwbaar waren. Dit was na 9 minuten toen 7 fietsen brandden. De brand nam daarna in intensiteit toe. Om die reden wordt verwacht dat de temperaturen tijdens het experiment hoger was dan 910 °C. De onderzoekers veronderstellen dat de temperatuur op het moment dat alle 28 fietsen brandden hoger dan 1.000 °C was.

Verwachte brandvermogen van het brandexperiment met 50 % elektrische fietsen en doorontwikkeling tot ruimtebrand

Het bij dit experiment verwachte brandvermogen is te vinden in figuur 2.4. Dit brandvermogen is berekend op basis van de snelheid waarbij de fietsen betrokken raakten bij het brandexperiment van een stallingssituatie met 50 % elektrische fietsen (Wolfs & Van Liempd, 2025b) en de verwachte hoeveelheid energie die daarbij vrijkomt. Voor de bepaling van dit brandvermogen is uitgegaan van een totaal vrijkomend vermogen van één elektrische fiets zonder accessoires van 165 MJ, van een niet-elektrische fiets zonder accessoires van 82,5 MJ, van een fietstas van 57 MJ en een kinderzitje van 81 MJ. De waarden voor een fietstas en kinderzitje komen uit de calorimeter experimenten (Wolfs & Van Liempd, 2025a). Voor de fietsen zijn de waarden overgenomen uit paragraaf 2.2.4. Deze waarden zijn niet direct uit de experimentele data over te nemen, omdat in deze experimenten maar een deel van de fiets verbrand is en bij de stallingssituatie alle brandbare onderdelen van de fiets verbrand waren. Er is verder aangenomen dat 80 % van deze energie vrijkomt gedurende de eerste 5 minuten nadat de objecten zijn gaan branden.



Figuur 2.4 Verwachte verloop brandvermogen startfase brand (elektrische) fietsen

Het brandvermogensverloop na 13 minuten is niet bekend, maar zolang er voldoende zuurstof beschikbaar is, is te verwachten dat de brand zich verder door de stalling uit zou hebben uitgebreid. Wanneer rook en warmte zich kunnen ophopen in de stalling, kan een hete rooklaag gevormd worden. Deze hete rooklaag kan zorgen voor een flashover. Bij een flashover is de temperatuur van de hete rooklaag zo hoog, dat alle materialen in de ruimte gelijktijdig tot ontbranding komen. Een flashover kan als gevolg van warmtestraling vanuit de rooklaag plaatsvinden als deze een temperatuur heeft van zo'n 500 °C (Drysdale, 2011). Een flashover kan echter ook al bij lagere temperaturen plaatsvinden. Dit kan het geval zijn wanneer materialen in de ruimte zich in de hete rooklaag bevinden. De materialen worden dan rechtstreeks opgewarmd door de hete rooklaag. Wanneer de (zelf)ontbrandingstemperatuur van de materialen is bereikt, zullen ze mee gaan branden.

Brandverloop bij stallingssituaties die afwijken van de geteste situatie

Het hierboven beschreven brandverloop geldt voor de geteste situatie. Omdat er maar één situatie zonder sprinklerinstallatie is getest, is het lastig om met zekerheid het brandverloop voor een andere stallingssituatie te geven. Op hoofdlijnen kunnen de volgende zaken gezegd worden over het verwachte brandverloop in afwijkende stallingssituaties:

- > De brand blijft vermoedelijk beheerst tot één fiets indien:
 - De brand begint in een niet-elektrische fiets zonder accessoires of fietstas. Dit is gebaseerd op de gemeten warmtestraling tijdens de calorimeter experimenten (Wolfs & Van Liempd, 2025a).
 - De plekken rondom de plek waar de fiets ontbrandt zijn leeg. Dit is gebaseerd op de gemeten warmtestraling tijdens de calorimeter experimenten en de verwachte afname van de straling over de afstand (Wolfs & Van Liempd, 2025a). In het geval van een elektrische fiets kunnen wegschietende accucellen alsnog voor branduitbreiding zorgen.
- > Mogelijk blijft de brand ook beperkt tot één fiets wanneer een elektrische fiets zonder accessoires ontbrandt en deze fiets een lagere accucapaciteit en SOC heeft dan respectievelijk 500 Wh en 100 %. Deze veronderstelling is gebaseerd op de gemeten warmtestraling tijdens het calorimeter experiment met een elektrische fiets zonder accessoires. Die warmtestraling was enkel richting één erboven gestalde fiets zo hoog,

dat branduitbreiding aannemelijk was (Wolfs & Van Liempd, 2025a). De hoeveelheid warmtestraling naar de ernaast geplaatste fietsen was te laag om branduitbreiding in die richtingen aannemelijk te maken. Bij een fiets met een lagere accucapaciteit of SOC zal het piek brandvermogen en als gevolg daarvan ook de hoeveelheid warmtestraling naar verwachting lager zijn. Experimentele gegevens om dit nauwkeurig te kunnen onderbouwen, ontbreken echter.

- > De branduitbreiding zal minder snel gaan en het brandvermogen zal lager zijn indien:
 - Er meer niet-elektrische fietsen gestald staan dan in de situatie uit het experiment. Bij een brand van deze fietsen komt minder energie vrij dan bij brandende elektrische fietsen (zie paragraaf 2.2.4).
 - De brand start bij een elektrische fiets zonder accessoires. De branduitbreiding naar andere fietsen vindt hierbij naar verwachting op een later moment plaats dan bij een elektrische fiets met kinderzitje (Wolfs & Van Liempd, 2025a).
 - De elektrische fietsen een lagere accucapaciteit en SOC hebben dan 500 Wh en 100 %.
 - De elektrische fietsen de accu in het frame hebben. De accu ontbrand in dit geval later / bij een grotere thermische blootstelling dan wanneer de accu onder de bagagedrager is gemonteerd (Wolfs & Van Liempd, 2025a). Wanneer enkele fietsen branden in de omgeving van een elektrische fiets met accu in het frame, verwachten de onderzoekers van het NIPV dat de accu zal gaan bijdragen aan de brand, omdat er dan voldoende energie (warmte) bij de accu is om deze in thermal runaway te brengen.
 - Er lege plekken zijn in de stalling. De vertraging in branduitbreiding als gevolg van een lege plek neemt wel af naarmate er meer fietsen tegelijkertijd branden. Meer fietsen samen geven tezamen meer energie voor branduitbreiding (bijvoorbeeld door warmtestraling). In de experimenten met een stallingssituatie is gezien dat 14 fietsen die gelijktijdig branden voldoende warmtestraling geven om de brand over een gangpad heen uit te laten breiden. Een gangpad is 2,15 meter breed. Alhoewel het stralend vlak aan de kopse zijde richting andere fietsen in een rij kleiner is dan richting een ander gangpad, wordt verwacht dat een brand waarbij 14 fietsen tegelijk branden ook kan zorgen voor branduitbreiding voorbij een of enkele lege plekken. Dit maakt dat een brand die al verder ontwikkeld is niet meer zal stoppen.
 - De plafondhoogte hoger is of de warmtestraling van vlammen aan het plafond andere fietsen minder bereikt (bijvoorbeeld bij een maaiveldstalling uitgevoerd zoals afgebeeld in figuur 2.6). Tijdens de experimenten met een stallingssituatie is gezien dat de warmtestraling van vlammen aan het plafond een belangrijke bijdrage levert aan de branduitbreiding in de bovenste stallingshoogte (Wolfs & Van Liempd, 2025b). De branduitbreiding in de bovenste stallingslaag verliep sneller dan in de onderste stallingslaag.
- > De branduitbreiding zal sneller gaan en het brandvermogen zal hoger zijn indien:
 - Meer elektrische fietsen of meer accessoires in de stalling staan dan tijdens het experiment.
 - er fietsen aanwezig zijn met een hogere accucapaciteit dan 500 Wh met 100 % SOC.
 - De accu overladen is. Dit heeft vooral invloed op het begin van de brand dat sneller kan verlopen. In experimenten is gezien dat het piek brandvermogen bij overladen hoger en sneller is dan bij extern verhitten, wat in de experimenten met een stallingssituatie is toegepast (Fleischmann et al., 2025).

Brandverloop bij een maaiveldstalling

Bij een maaiveldstalling (zie figuur 2.6 voor een voorbeeld) kan warme rook vrijwel direct de buitenlucht instromen. De hoogte, de vorm en brandbestendigheid van de overkapping spelen een rol in het brandverloop. Des te hoger de vrije ruimte boven de fietsen, des te langzamer zal de branduitbreiding verlopen ten opzichte van de situatie uit de experimenten met een stallingssituatie (Wolfs & Van Liempd, 2025b). Bij deze experimenten is gezien dat het afbuigen van de vlammen aan het plafond in de richting van andere fietsen een belangrijke rol speelde in de snelheid van de branduitbreiding. Bij een stalling zoals in figuur 2.6 zal de branduitbreiding minder snel gaan vanwege de vrije ruimte tussen de bovenkant van de fietsen en de overkapping en de gebogen overkapping. De vlammen zullen hierdoor eerder naar het gangpad, haaks op de stalling, aan de buitenzijde afgebogen worden dan naar de zijkant waar andere fietsen staan. Alhoewel de branduitbreiding hier naar verwachting trager zal verlopen, wordt alsnog verwacht dat een volledige rij fietsen uit kan branden en dat een brand over kan slaan naar een andere rij. Hierbij gelden dezelfde factoren voor een snellere of tragere branduitbreiding als die hiervoor beschreven zijn.

Brandverloop bij fietskluisen

Wanneer de fietsen zijn opgeslagen in fietskluisen (zie figuur 2.5), is de verwachting dat de warmte voornamelijk in de rij kluisen blijft. Een brand kan zich hierdoor snel uitbreiden over een rij fietskluisen. Uitbreiding tot buiten een rij fietskluisen zal naar verwachting niet snel gebeuren. Omdat de fietskluisen gemaakt zijn van onbrandbaar materiaal en relatief gesloten zijn, wordt verwacht dat er slechts in beperkte mate vlammen buiten de fietskluisen zullen komen.



Figuur 2.5 Fietskluisen



Figuur 2.6 Maaiveldstalling bij station Apeldoorn

Brandverloop bij een fietsflat

Bij een fietsflat (zie figuur 2.7) is in basis niet te verwachten dat de hete rooklaag een rol zal spelen in de branduitbreiding. Dit geldt als alle zijden volledig open zijn en er geen hoge balken onder het plafond hangen waartussen warme rook zich kan ophopen. De rook en warmte kunnen dan via de open zijanten in voldoende mate afgevoerd worden om de vorming van een hete rooklaag te voorkomen. Er zal dan naar verwachting geen flashover plaatsvinden.

Het plafond kan wel een rol spelen in het afbuigen van de vlammen richting een andere rij fietsen. Net als bij de experimenten met een stallingssituatie kan een plafond vlak boven de fietsen zorgen voor het afbuigen van vlammen die de bovenste laag fietsen aanstralen en doen ontbranden. Het verwachte brandverloop bij een fietsflat is daarom in de beginfase gelijk aan de hierboven beschreven situatie voor een inpandige stalling. Er gelden dezelfde factoren voor een snellere of tragere branduitbreiding als die hiervoor beschreven zijn.



Figuur 2.7 Fietsflat bij station Apeldoorn

Inpandige stalling

Bij een inpandige stalling (zie figuur 2.8) kan het wel mogelijk zijn dat een hete rooklaag een belangrijke rol gaat spelen in de branduitbreiding. Dit hangt van meerdere factoren af, zoals bijvoorbeeld de duur van de brand, wat er brandt, de afmetingen van de fietsenstallingen, de hoeveelheid rook, de hoeveelheid warmte die naar buiten stroomt en de beschikbaarheid van zuurstof. Het plafond kan een rol spelen in het afbuigen van de vlammen richting de bovenste laag fietsen, die door de straling van de vlammen kunnen ontbranden. Bij een inpandige fietsenstalling met elektrische fietsen kan niet uitgesloten worden dat een flashover plaatsvindt en de brand als gevolg van de hete rooklaag uitgroeit tot een brand in de volledige ruimte.



Figuur 2.8 Inpandige fietsenstalling op station Apeldoorn

2.3.2 Fatbikes

Er is een brandexperiment uitgevoerd voor ProRail met een stallingssituatie met fatbikes. Dit experiment had de volgende kenmerken:

- > 10 fatbikes stonden in een enkele rij naast elkaar op de vloer met een onderlinge afstand van 50 cm.
- > De fatbikes hadden 2 accu's van 750 Wh en 100 % SOC.
- > De brand begon in het midden van de rij fatbikes.
- > Het plafond van de stalling was 2,75 meter hoog.

Observaties uit het brandexperiment

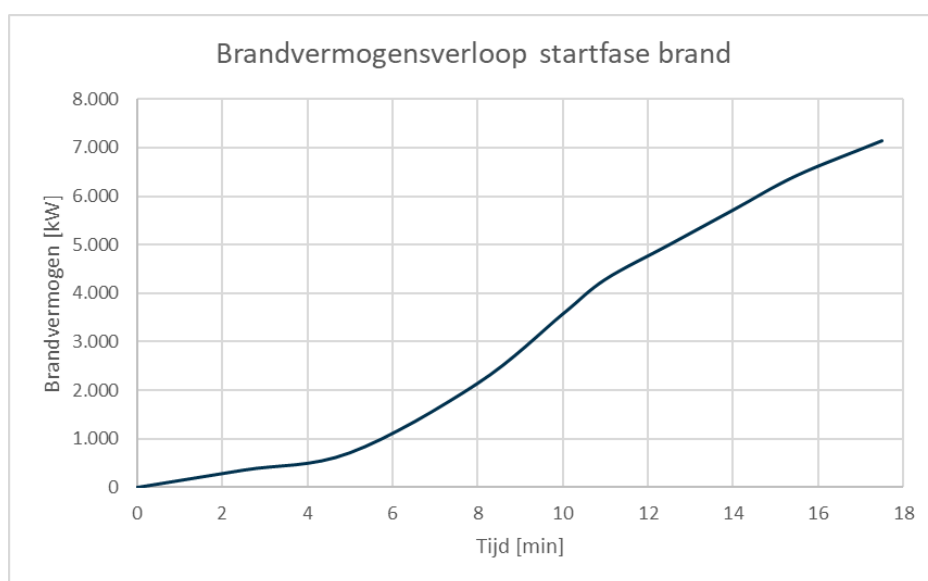
Bij experimenten met fatbikes gestald op de vloer werd gezien dat de eerste vijf minuten na de start één fatbike brandde. 5,5 minuut na de start ontbrandde de tweede fatbike en na 7,5 minuut de derde fatbike. De brand breidde zich steeds verder uit en na 17,5 minuut brandden alle tien fatbikes gelijktijdig. Gemiddeld breidde de brand zich ongeveer elke 1,5 minuut uit naar een andere fatbike. Na zo'n 65 minuten werd het experiment beëindigd; de tien fatbikes waren grotendeels opgebrand (Wolfs & Van Liempd, 2025b).

Op basis van de gemeten warmtestraling tijdens het experiment wordt verwacht dat bij een opstelling van tien fatbikes naast elkaar in één rij geen brandoverslag zal plaatsvinden naar een andere rij. Bij een langere rij of een dubbele rij zou dit wel mogelijk zijn. Zonder maatregelen zou dan uiteindelijk de gehele stalling uitbranden. Ook als gevolg van accucellen die al brandend wegschieten zou een brand zich uit kunnen breiden naar een andere rij.

De temperatuurmetingen waren voor een belangrijk deel onbetrouwbaar tijdens dit experiment. De hoogst gemeten temperatuur was $> 1.200\text{ }^{\circ}\text{C}$ (en viel daarmee buiten het meetbereik van de thermokoppels). De verwachting was dat de temperatuur gedurende de brand langere tijd boven de $1.200\text{ }^{\circ}\text{C}$ uit zou kunnen komen. De temperatuur kan dermate hoog blijven zolang er voldoende zuurstof beschikbaar is voor de verbranding.

Verwachte brandvermogen van het brandexperiment en doorontwikkeling tot ruimtebrand

Het bij dit experiment verwachte brandvermogen is te vinden in figuur 2.9. Dit brandvermogen is berekend op basis van de snelheid waarbij de fatbikes betrokken raakten bij het brandexperiment (Wolfs & Van Liempd, 2025b) en de verwachte hoeveelheid energie die daarbij vrijkomt. Voor de bepaling van het brandvermogen is uitgegaan van een totaal vrijkomende energie van één fatbike van 375 MJ. Er is verder aangenomen dat 80 % van deze energie vrijkomt gedurende de eerste 7 minuten nadat de objecten zijn ontbrand.



Figuur 2.9 Verwachte verloop brandvermogen startfase brand fatbikes

Het verdere brandvermogensverloop is niet bekend uit het experiment. Op dat moment brandden alle fatbikes in de testopstelling volledig mee. In een echte stallingssituatie zouden op het moment dat er tien fatbikes branden ook andere fatbikes betrokken raken bij de brand. Zolang er immers voldoende zuurstof beschikbaar is, is te verwachten dat de brand zich verder door de stalling uitbreidt. Zonder maatregelen kan dan uiteindelijk de gehele stalling uitbranden. Wanneer rook en warmte zich kunnen ophopen, kan een flashover plaatsvinden. Bij een maaiveldstalling of een fietsflat is een flashover niet waarschijnlijk. Bij een inpandige stalling is dit wel mogelijk.

Brandverloop bij stallingssituaties die afwijken van de geteste situatie

Het hierboven beschreven brandverloop geldt voor de geteste situatie. Omdat er maar één situatie zonder sprinklerinstallatie is getest, is het lastig om met zekerheid het brandverloop voor een andere stallingssituatie met fatbikes te geven. Op hoofdlijnen kunnen de volgende zaken gemeld worden over het verwachte brandverloop in afwijkende stallingssituaties:

- > De brand blijft vermoedelijk beheerst tot één fatbike indien er voldoende vrije ruimte is naast de fatbike. De fatbikes zijn niet meegenomen in de calorimeter experimenten. De warmtestraling van één brandende fatbike is onbekend. De verwachting van de onderzoekers is dat een vrije ruimte van 1 meter voldoende is om brandoverslag door

warmtestraling te voorkomen, maar dan bestaat nog steeds het risico op branduitbreiding door wegschietende accucellen.

- > De branduitbreiding zal minder snel gaan en het brandvermogen zal lager zijn indien:
 - er lege plekken zijn in de stalling.
 - er andere tweewielers staan dan fatbikes die een lagere brandvermogensdichtheid (brandvermogen per vierkante meter) hebben, zoals bijvoorbeeld bakfietsen.
 - de fatbikes minder brandbare onderdelen hebben.
 - de fatbikes een lagere accucapaciteit of SOC hebben dan de situatie uit het experimenten (2x 750 Wh en 100 % SOC).
- > De branduitbreiding zal sneller gaan en het brandvermogen zal hoger zijn indien:
 - de fatbikes dichter op elkaar staan.
 - er fatbikes aanwezig zijn met een hogere accucapaciteit of SOC dan de situatie uit de experimenten (2x 750 Wh en 100 % SOC).
 - de fatbikes meer brandbare onderdelen hebben dan de fatbikes uit het experiment.
 - de initiële start van de brand sneller gaat wanneer de brand het gevolg is van het overladen van een accu. In experimenten is immers gezien dat het piek brandvermogen bij overladen hoger en sneller is dan bij extern verhitten wat in de experimenten met een stallingssituatie is toegepast (Fleischmann et al., 2025).

2.3.3 Bakfietsen

De bakfietsen worden over het algemeen gestald in een apart deel van de fietsenstalling op de vloer. Alhoewel het verwachte piekbrandvermogen van een elektrische bakfiets naar verwachting hoger is dan van een elektrische fiets zonder bak, staan de bakfietsen minder dicht op elkaar dan de elektrische fietsen en worden de bakfietsen niet in twee lagen boven elkaar gestald. Bakfietsen hebben daarom naar verwachting een brandverloop met een lager brandvermogen dan gewone elektrische fietsen in fietsenstallingen. Bakfietsen hebben naar verwachting een piek brandvermogen en totale vrijkomende energie vergelijkbaar met die van fatbikes. Bakfietsen nemen echter meer ruimte in. In vergelijking met fatbikes komt de energie dus op een groter oppervlak vrij en komt de warmte vrij over een groter oppervlak. Dit zorgt voor een lagere temperatuur nabij bakfietsen die nog niet branden. De bijdrage van convectieve en stralingswarmte op de branduitbreiding is daardoor naar verwachting lager dan bij fatbikes. De verwachting is daarom dat het brandverloop bij bakfietsen trager verloopt dan bij fatbikes.

2.3.4 Scooters

Er zijn geen experimenten uitgevoerd met scooters in een stallingssituatie zonder sprinklerinstallatie, maar op basis van de calorimeter experimenten is hier wel een inschatting voor te maken. Bij deze experimenten is gezien dat het brandvermogen van verschillende (elektrische) scooters varieerde tussen ongeveer 1.000 en 3.000 kW (Wolfs & Van Liempd, 2025a). Er is verder gezien dat de periode waarin de scooters met het hoogste brandvermogen brandden zo'n 8 – 12 minuten duurden. Branduitbreiding naar een andere scooter zou op basis van de gemeten warmtestraling na 2 – 4 minuten plaatsvinden.

Verwachte branduitbreiding en brandvermogen

Op basis van de hierboven vermelde gegevens uit de calorimeter experimenten kan het volgende ingeschat worden over de branduitbreiding en het brandvermogen:

Bij een dubbele rij van 7 scooters naast elkaar en branduitbreiding in alle richtingen na 3 minuten, brandde tot 3 minuten één scooter. Na 3 minuten begonnen 3 scooters meer mee te branden (links, rechts en tegenover de brandende scooter). Weer 3 minuten later

begonnen nog eens 4 scooters mee te branden (in beide rijen tweemaal aan de linkerzijde en tweemaal aan de rechterzijde). Na 6 minuten brandden daardoor al 8 scooters. Het duurde enkele minuten voordat de scooters volledig in brand stonden, maar na een minuut of 10 zouden 8 scooters volledig in brand kunnen staan. Uitgaande van een piek brandvermogen van 2.000 kW geeft dit een totaal brandvermogen van $8 * 2.000 = 16.000$ kW oftewel 16 MW.

Exacte gegevens zijn niet bekend, maar op basis van het vrijkomende brandvermogen wordt verwacht dat een dergelijke brand zich uit zou kunnen breiden naar een andere rij. Zonder maatregelen kan uiteindelijk de gehele stalling uitbranden. Ook als gevolg van accucellen die al brandend wegschieten zou een brand zich uit kunnen breiden naar een andere rij (Wolfs & Van Liempd, 2025a).

Wanneer rook en warmte zich kunnen ophopen in de stalling, kan deze hete rooklaag zorgen voor een flashover. Bij een maaiveldstalling of een fietsflat is een flashover minder waarschijnlijk (bij open zijanten en een vlak plafond). Bij een inpandige stalling is dit wel mogelijk.

2.3.5 Overige ruimtes / functies

Het brandvermogen van een kantoor(tje), een fiets- en servicewinkelwinkel, beheerdersruimte of pantry hangt sterk af van de inrichting en de brandbaarheid van de constructie. Voor het berekenen van de thermische belasting van een constructie bij brand worden kengetallen gebruikt waarmee het brandvermogen en brandverloop bepaald worden. Voor een kantoor wordt daarbij aangenomen dat de brandvermogensdichtheid 250 kW/m^2 is (NEN, 2019). De tijdsconstante voor kantoren is gesteld op 300 seconden (branduitbreidingsnelheid matig). Dit betekent dat het brandvermogen na 300 seconden 1 MW is. Na 20 minuten (1200 seconden) is het brandvermogen van een brand in een kantoor dan 16 MW. Het maximale piek brandvermogen wordt verder ook bepaald door het maximum oppervlak van het kantoor. Een brand van 16 MW komt overeen met $16 / 0,25 = 64 \text{ m}^2$ die gelijktijdig in brand staan. Is een kantoor geen 64 maar 10 m^2 , dan is het piek brandvermogen $10 * 250 = 2.500 \text{ kW} = 2,5 \text{ MW}$. Dit geldt voor een situatie waarbij voldoende zuurstof beschikbaar is voor de verbranding. Op het moment dat er onvoldoende zuurstof beschikbaar is voor de verbranding, wordt het brandvermogen bepaald door de hoeveelheid beschikbare zuurstof.

Op basis van een bezoek aan station Apeldoorn wordt het brandvermogensverloop voor een fiets- en servicewinkel gelijkgesteld aan dat van een kantoor. Er is geen sprake van een grote dichtheid van brandbare spullen in een dergelijke winkel. Ditzelfde geldt voor een pantry en een beheerdersruimte.

2.3.6 Effect sprinkler

In de experimenten met een stallingssituatie zijn ook situaties getest waarbij een sprinkler was voorzien (Wolfs & Van Liempd, 2025b). De volgende situaties zijn getest:

- > Fietsparkeersysteem met HC-3 sprinkler⁵
- > Fatbikes met HC-3 sprinkler
- > Fatbikes met HC-2 sprinkler
- > Scooters met HC-3 sprinkler.

⁵ Bij dit experiment waren alle fietsen elektrisch; 8 fietsen hadden een fietstas en 6 een kinderzitje.

HC-2 en HC-3 betreft de 'hazard category' oftewel de gevarenklasse. Bij de testen is uitgegaan van de sprinklernorm FM 3-26. Aan de gevarenklasse hangen vereisten vast voor het ontwerp van de sprinkler (zie tabel 2.5). HC-3 is een hogere gevarenklasse dan HC-2 en geschikt voor materialen die sneller branden.

Tabel 2.5 Ontwerpvereisten sprinkler volgens FM3-26

Gevarenklasse	Sproeidichtheid [mm/min]	Sproeioppervlak nat [m ²]	Sproeioppervlak per kop [m ²]	Debiet per kop [l/min]
HC-2	8	230	12	96
HC-3	12	230	9	108

In alle experimenten heeft de brand zich na activering van de sprinkler niet verder uitgebreid en is uiteindelijk uitgedoofd. Een thermal runaway in een accu wordt echter niet gestopt door de sprinkler. Tijdens de experimenten is dan ook gezien dat ook na activering van de sprinkler accu's in een thermal runaway bleven of raakten. De resultaten van de experimenten met sprinkler zijn samengevat in tabel 2.6.

Tabel 2.6 Samenvatting experimenten met sprinkler

Experiment	Aantal objecten dat brandde bij activering sprinkler	Aantal geopende sprinklerkoppen	Hoogst gemeten temperatuur voor activatie sprinkler
Fietsen HC-3	11	1	971 °C
Fatbikes HC-3	3	1	589 °C
Fatbikes HC-2	3	2	754 °C
Scooters HC-3	1	1	742 °C

Voor activatie van de sprinkler liep de temperatuur op tot zo'n 600 – 1.000 °C. Na activatie daalde de temperatuur bij alle experimenten binnen 5 minuten vrijwel overal tot onder de 100 °C. Er was daardoor slechts gedurende enkele minuten sprake van temperaturen hoger dan 500 °C.

2.3.7 Samenvatting

Op basis van de analyse van het brandgedrag van elektrische tweewielers kan het volgende vastgesteld worden over het brandverloop in een (fietsen)stalling:

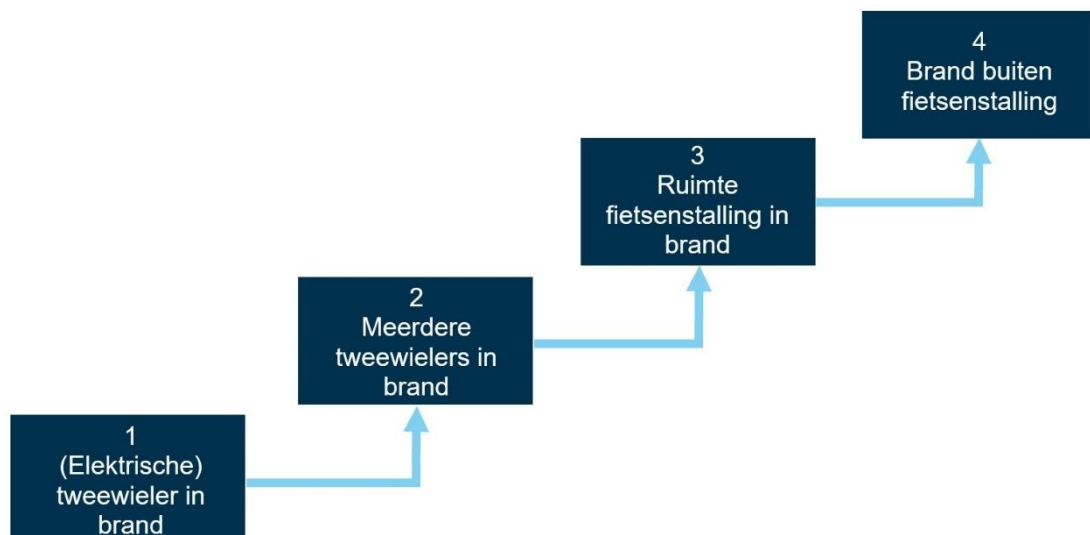
- > Wanneer er ook elektrische fietsen gestald worden, zal de kans dat een brand in een fietsenstalling ontstaat naar verwachting toenemen. Van het opladen van accu's wordt ook verwacht dat het de kans op brand doet toenemen.
- > Het piek brandvermogen van een elektrische fiets en de omvang van een brand in een fietsenstalling met elektrische fietsen nemen toe ten opzichte van een situatie met niet-elektrische fietsen. Bij een niet-elektrische fiets zonder accessoires of met fietstas zal de brand normaliter beperkt blijven tot één fiets (Wolfs & Van Liempd, 2025a). Bij een elektrische fiets is daarentegen te verwachten dat branduitbreiding plaatsvindt naar andere fietsen in het fietsparkeersysteem.

- > Een brand met (elektrische) tweewielers in een maaiveldstalling zal een lokale brand blijven die zich kan verplaatsen door de fietsenstalling, ook van de ene rij naar de andere. De volledige stalling kan hierbij uitbranden, maar het is niet aannemelijk dat de stalling als geheel op hetzelfde moment in brand staat (kleinere stallingen uitgezonderd).
- > Een brand met (elektrische) tweewielers in een fietsflat zal veelal een lokale brand blijven die zich kan verplaatsen door de fietsenstalling, ook van de ene rij naar de andere rij. Voorwaarde hierbij is dat rook en warmte in voldoende mate naar de buitenlucht kunnen stromen (via open zijkanalen). De volledige stalling kan hierbij uitbranden, maar bij voldoende uitstroom van rook en warmte is niet aannemelijk dat de stalling als geheel op hetzelfde moment in brand staat (kleinere stallingen uitgezonderd).
- > In een inpandige stalling waarbij (elektrische) tweewielers zijn betrokken, kan een brand zich ontwikkelen tot een ruimte in brand (een brand die de volledige ruimte betreft).
- > Bij een brand in het gedeelte waar de scooters staan, is naar verwachting in de eerste tien minuten sprake van het scenario met het hoogste piek brandvermogen in een fietsenstalling. In de fase na de eerste tien minuten kunnen fietsen potentieel het hoogste piek brandvermogen geven.

2.4 Mogelijke scenario's

In deze paragraaf worden de mogelijke scenario's van branden in een fietsenstalling met elektrische fietsen, fatbikes en scooters omschreven. De scenario's zijn beschreven aan de hand van het cascademodel 3.0 (Bertels & Hessels, 2019). Een toelichting op dit cascademodel is te vinden in paragraaf 1.3. Verder is hieronder omschreven welke overige risico's er zijn, die niet direct in de cascades terugkomen. Hierbij zijn ook de bakfietsen meegenomen. Verder is gekeken naar de restrisico's.

De cascades in figuur 2.10 zijn gebruikt voor elektrische fietsen, fatbikes en scooters in een fietsenstalling:



Figuur 2.10 Cascades voor het scenario met elektrische fietsen, fatbikes en scooters in fietsenstallingen

De cascades zijn zo gekozen dat verschillende fases van het brandverloop in beeld worden gebracht. Hierbij is duidelijk welke effecten zich bij een bepaalde mate van brandontwikkeling voordoen. Ook is duidelijk welke maatregelen kunnen bijdragen aan het voorkomen van het ontstaan van of doorgroeien naar een bepaalde cascade, of aan het beperken van de

effecten van een bepaalde cascade. Er wordt ingegaan op de verschillende stallingssituaties met fietsen, fatbikes en scooters.

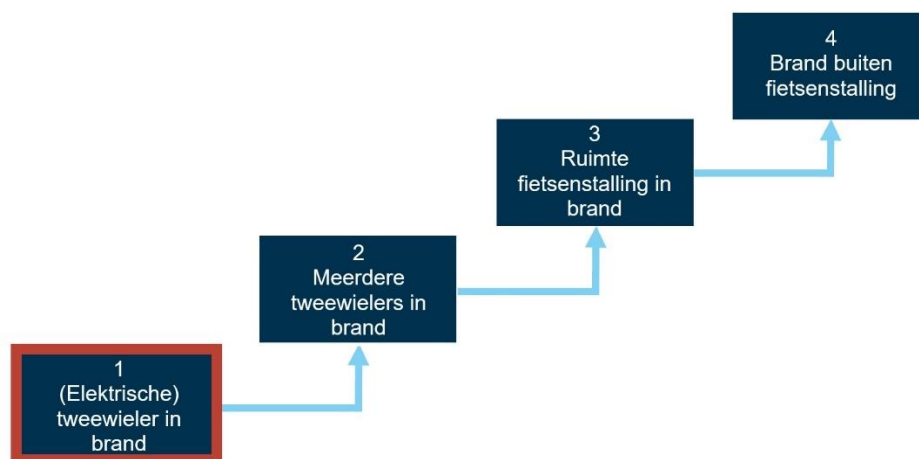
Voor de verschillende soorten stallingen geldt dat zich zonder het treffen van brandveiligheidsmaatregelen naar verwachting de cascades uit tabel 2.7 kunnen voordoen.

Tabel 2.7 Mogelijke cascades per type stalling wanneer geen maatregelen genomen zijn (x = cascade is mogelijk)

Soort stalling	Cascade 1: één tweewieler in brand	Cascade 2: meerdere tweewieler in brand	Cascade 3: ruimte fietsenstalling in brand	Cascade 4: brand buiten fietsenstalling
Fietskluis	x	x	x	-
Maaiveldstalling	x	x	-	x
Fietsflat	x	x	Wordt niet verwacht indien voldoende afvoer van warme rook	x
Inpandige stalling	x	x	x	x

2.4.1 Cascade 1: 'één (elektrische) tweewieler in brand'

De eerste cascade die is uitgewerkt, is die van één (elektrische) fiets, fatbike of scooter in brand (zie figuur 2.11 en tabel 2.8).



Figuur 2.11 Cascade 'één (elektrische) tweewieler in brand'

Tabel 2.8 Uitwerking cascade 1: 'één (elektrische) tweewieler in brand'

Cascade 1: 'één (elektrische) tweewieler in brand'	
Brandkenmerken	Er brandt maximaal 1 (elektrische) fiets, fatbike of scooter. Piek brandvermogen is in het geval van een fiets ongeveer 60 – 800 kW (laagste brandvermogen voor een niet-elektrische fiets zonder accessoires en hoogste brandvermogen voor een elektrische fiets met kinderzitje).

Piek brandvermogen in het geval van een fatbike is ongeveer 750 – 1.000 kW.

Piek brandvermogen in het geval van een scooter is ongeveer 1.000 – 3.000 kW (laagste brandvermogen voor een elektrische scooter zonder accessoires en hoogste brandvermogen voor een elektrische scooter met windscherm en topkoffer).

De brand is in een relatief grote fietsenstalling (ten opzichte van de omvang van de brand). De brand is daardoor brandstofbeheerst, ook in een inpandige stalling. Het type fiets, fatbike of scooter bepaalt samen met de status (bijvoorbeeld de SOC van de accu) de snelheid van branduitbreiding.

Bij de brand komen warmte, verstikkende, toxische en irriterende gassen en roet vrij. Bij een scooter in brand kunnen, nog meer dan bij een fiets of fatbike, flinke hoeveelheden zichtbare rook (roet) vrijkomen. Kleine stallingen van enkele honderden vierkante meters zonder openingen kunnen hierdoor (bijna) volledig gevuld worden met rook.

Losse cellen van een accu kunnen al brandend meters ver wegschieten.

In het geval van een vertraagde ontsteking na het afgassen van een accu kan mogelijk een dampwolkexplosie plaatsvinden.

Na blussing van een brandende accu kan eventueel een herontsteking plaatsvinden.

Interventiekenmerken	De brand kan geblust worden met 1 hoge drukstraal (125 l/min). De waterhoeveelheid in de tank van een tankautospuiter is voldoende om de brand te blussen (1.500 liter). Voor zowel een maaiveldstalling, een fietsflat als een inpandige stalling is de slagingskans van de inzet van de brandweer hoog (indien aan de benodigde voorwaarden voor het mogelijk maken van een inzet is voldaan, zie par. 2.5.2).
Menskenmerken	Aanwezigen voelen vanwege de beperkte omvang van de brand mogelijk nog geen urgentie om de fietsenstalling te verlaten. Aanwezigen zullen mogelijk hun eigen tweewieler uit de stalling willen halen, omdat ze bang zijn dat deze beschadigd wordt. Aanwezigen zijn mogelijk niet op de hoogte van het risico van wegschietende accucellen en de giftigheid van de rook. Aanwezigen kunnen soms eerder de neiging hebben om het incident te filmen dan om de brandweer te bellen. Wanneer de brand zich ontwikkelt en meer rook afgeeft, zullen aanwezigen over het algemeen afstand tot de brand en de rook aanhouden.
Omgevingskenmerken	Alleen in de directe omgeving van de brand hangt rook. Verder van de brand mengt de rook al snel op met schone lucht.
Ontstaansoorzaken	1. Interne beschadiging van de accu door vallen / stoten. 2. Slechte kwaliteit van de accu. 3. Een accu raakt oververhit door overladen of onderladen. 4. Na een brand blijft een e-bike/scooter binnen staan en vindt er herontsteking plaats / een accu wordt onvoldoende afgeblust en er ontstaat herontsteking. 5. Defect in het elektrische deel van een benzinescooter. 6. Brandstichting.
Effecten	<i>(Persoonlijke) veiligheid</i> 1. Medewerker die wil blussen ademt giftige rook in of krijgt brandwonden door de brand of wegschietende cellen. Mensen nemen veelal afstand wanneer ze direct bedreigd worden door hitte of rook. Dodelijke slachtoffers zijn daarom over het algemeen niet te verwachten.

2. Aanwezig in de fietsenstalling ademen giftige rook in of krijgen brandwonden door de brand of wegschietende cellen. Mensen nemen veelal afstand wanneer ze direct bedreigd worden door hitte of rook. Dodelijke slachtoffers zijn daarom over het algemeen niet te verwachten.

Beschikbaarheid van het spoor

3. Geen effect verwacht.

Klanttevredenheid

4. Gedurende maximaal enkele uren kan de fietsenstalling niet gebruikt worden. Het herstellen van de stalling (bv. reinigen, roetvrij maken) kan in een deel van de stalling enige impact hebben op de bruikbaarheid ervan.
5. Lokaal kan leidingwerk et cetera (deels) weg zijn gebrand. Dit kan gevolgen hebben voor de operatie van het station. Dit geldt met name voor een scooter in brand en mogelijk ook voor een fatbike in brand.

Kosten

6. Enkele duizenden tot tienduizenden euro's schade.

Maatregelen ter voorkoming van de ontstaansoorzaken⁶

- a. Voorlichting aan gebruikers van de fietsenstallingen over oorzaken van brand [1, 2].
- b. Geen accu's toestaan in de fietsenstalling [1 t/m 4].
- c. Geen accu's laden in de fietsenstalling [3].
- d. Na een brand een beschadigde fiets buiten plaatsen / af laten voeren [4].
- e. Geen benzinescooters toestaan in de fietsenstalling [5].
- f. Toezicht [6].

Maatregelen ter beperking van de effecten⁷

- a. Brand tijdig ontdekken (branddetectiesysteem) [2 t/m 5].
- b. Brandweer tijdig waarschuwen en inzet brandweer mogelijk maken [2 t/m 6].
- c. Aanwezig in tijdig waarschuwen om weg te gaan bij de brand [2].
- d. Zorgen dat mensen bij een brand niet de stalling in kunnen [2].
- e. Ontgrendelen van belemmeringen in de vluchtwegen, zoals OV-chip-poortjes, bij een brand [2].
- f. Scooters en fatbikes buiten stallen [5].
- g. Leidingwerk afschermen van brand of niet door stalling laten lopen [5].
- h. Preparatie van medewerkers en calamiteitendienst op het omgaan met brand waarbij een Li-ion accu betrokken is (procedures, opleiden en oefenen) [1 t/m 6].
- i. Preparatie van medewerkers en calamiteitendienst op een brand waarbij geen Li-ion accu betrokken is [1 t/m 6].

2.4.2 Cascade 2: 'meerdere tweewielers in brand'

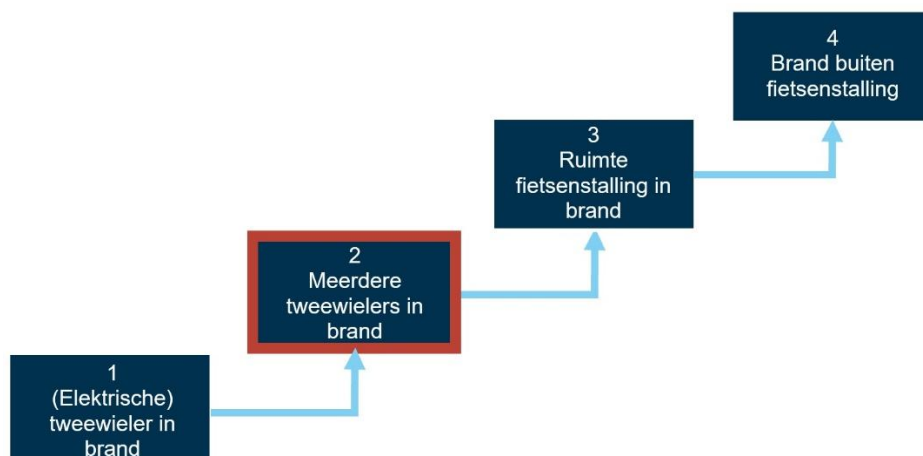
Wanneer een brand niet tijdig wordt geblust of niet uit zichzelf uitdooft, zal hij groeien in omvang. Een brand kan bijvoorbeeld uitdoven als er lege plekken zijn rondom de fiets, fatbike of scooter die ontbrandt, of als de brand begint bij een niet-elektrische fiets zonder accessoires of een niet-elektrische fiets met fietstas.

Wanneer de brand doorgroeit, zullen meerdere tweewielers (fietsen, fatbikes, scooters) erbij betrokken raken. Voor de uitwerking van deze cascade is ervoor gekozen om een brand te beschrijven met een piek brandvermogen van 20 MW. In de uitwerking van de cascade is beschreven hoeveel tweewielers in dat geval grofweg betrokken zijn bij de brand. Deze cascade is zo gekozen dat er zicht is op de effecten van een brand die voor wat betreft de brandomvang zit tussen de cascades 'één tweewieler in brand' en 'de gehele fietsenstalling

⁶ Tussen [] staan de ontstaansoorzaken die door de maatregelen mogelijk voorkomen kunnen worden. In paragraaf 2.5.2 staat nadere informatie over deze maatregelen.

⁷ Tussen [] staan de effecten die door de maatregelen mogelijk beperkt kunnen worden. In paragraaf 2.5.2 staat nadere informatie over deze maatregelen.

betrokken bij de brand'. Welke kenmerken, effecten en mogelijke maatregelen er zijn bij een dergelijke brand, is beschreven in de cascade 'meerdere tweewielers in brand' (zie figuur 2.12 en tabel 2.9).



Figuur 2.12 Cascade 'meerdere tweewielers in brand'

Tabel 2.9 Uitwerking cascade 'meerdere tweewielers in brand'

Cascade 2: 'meerdere tweewielers in brand'	
Brandkenmerken	Er branden meerdere tweewielers in de fietsenstalling. Het piek brandvermogen is 20 MW. Voorwaarde hiervoor in het geval van een inpandige stalling is dat er voldoende zuurstof beschikbaar is. Een brand in een maaiveldstalling of fietsflat is brandstofbeheerst. De brandbaarheid en manier van stallen van de tweewielers bepalen de snelheid van branduitbreiding. Het brandvermogen van 20 MW komt op basis van een grove inschatting overeen met 10 scooters, 25 fatbikes of 50 fietsen die gelijktijdig branden. Bij een inpandige fietsenstalling komt er een rooklaag aan het plafond te hangen. Afhankelijk van hoe lang de brand duurt en of rook en warmte weg kunnen stromen van de brand (eventueel de ruimte uit), zal de temperatuur van de hete rooklaag variëren. Straling vanuit de hete rooklaag kan een rol spelen in de branduitbreiding. Bij de brand komen warmte, verstikkende, toxische en irriterende gassen vrij. Er kunnen flinke hoeveelheden zichtbare rook (roet) vrijkomen. Stallingen zonder openingen kunnen hierdoor (bijna) volledig gevuld worden met rook. Losse cellen van een accu kunnen al brandend meters ver wegschieten. Na blussing kan eventueel een herontsteking van een accu plaatsvinden.
Interventiekenmerken	Het benodigd koelend vermogen is 900 l/min (Brandweeracademie, 2020). De hoeveelheid water in de tank van de tankautospuit is waarschijnlijk onvoldoende. Een bluswatervoorziening met een debiet van 60 m³ / uur is nodig. Bij een maaiveldstalling of fietsflat is de slagingskans van de inzet van de brandweer hoog (indien aan de benodigde voorwaarden voor het mogelijk maken van een inzet is voldaan). Bij een fietsflat zal een brand veelal geblust kunnen worden, mits de brandweer een blusactie kan inzetten buiten de valschaduw van de fietsflat of wanneer er voldoende zekerheid is dat de fietsflat in stand blijft tijdens een brand. Omdat de worplengte van een blusstraal van de brandweer beperkt is, geldt dat het bij een brand in het midden van een grotere stalling niet meer mogelijk is om buiten de valschaduw te kunnen blussen. In dat geval zal een offensieve binneninzet

nodig zijn. De slagingskans hiervan is lager dan van een offensieve buiteninzet (blusactie van buiten).
 Voor een inpandige stalling geldt dat de slagingskans sterk afneemt in deze cascade. Een offensieve buiteninzet is wellicht nog mogelijk. Wanneer de brand niet geblust kan worden van buiten, zal een binnenaanval in de meeste gevallen niet uitgevoerd worden. In dat geval zal een defensieve inzet plaatsvinden, waarbij wordt ingezet op het beperken van de branduitbreiding naar andere gebouwen of bouwdelen.

Menskenmerken

Omdat de brand groeit in omvang, voelen aanwezigen meer urgentie om de fietsenstalling te verlaten. Bij een brand met een grotere omvang kunnen ze niet alleen bedreigd worden door de vlammen, maar ook door de rook (inademing en stralingswarmte).
 Ondanks dat de brand groeit in omvang, kunnen aanwezigen mogelijk toch hun eigen fiets, fatbike of scooter proberen te halen uit een grotere fietsenstalling op plekken waar de effecten van de brand nog minder te merken zijn, omdat ze bang zijn dat deze beschadigd wordt.
 Aanwezigen zijn mogelijk niet op de hoogte van het risico van wegschietende accucellen en de giftigheid van de rook.
 Aanwezigen kunnen soms eerder de neiging hebben om het incident te filmen dan om de brandweer te bellen.

Omgevingskenmerken

In deze cascade is sprake van een substantiële hoeveelheid rook.

Ontstaansoorzaken

1. Door een brand in een tweewieler wordt warmte afgegeven aan een nog niet-brandende tweewieler die hierdoor mee gaat branden.
2. Door een wegschietende accucel gaat een nog niet-brandende tweewieler mee branden.

Effecten

(Persoonlijke) veiligheid

1. Aanwezigen in de fietsenstalling in een gebied waar de effecten van de brand nog minder merkbaar zijn, ademen giftige rook in. Mensen nemen veelal afstand wanneer ze direct bedreigd worden door hitte of rook. Dodelijke slachtoffers zijn daarom over het algemeen niet te verwachten.
2. Aanwezigen raken gedesoriënteerd door de rook en kunnen de fietsenstalling niet zelfstandig verlaten (bij een inpandige fietsenstalling). Wanneer mensen niet zelfstandig de fietsenstalling kunnen verlaten, is overlijden een reëel risico in inpandige fietsenstallingen.

Beschikbaarheid spoor

3. Afhankelijk van de windrichting en ligging van de fietsenstalling ten opzichte van het spoor kan er rookoverlast zijn op het spoor. Bij een maaiveldstalling zal de overlast relatief snel na arriveren van de brandweer over zijn (snelle blusactie). Bij een fietsflat of inpandige fietsenstalling moet per geval bekeken worden of een blusactie een hoge slagingskans heeft. Is de slagingskans van de blusactie van de brandweer beperkt, dan zijn andere maatregelen nodig om te zorgen dat er geen overlast van één tot enkele uren kan ontstaan.

Klanttevredenheid

4. Maaiveldstalling: gedurende enkele uren kan de fietsenstalling niet gebruikt worden. Voor het deel van de stalling waar de brand heeft gewoed, geldt dat meer hersteltijd nodig is, vermoedelijk een week.
5. Fietsflat: lokaal kan de constructie beschadigd zijn; deze moet hersteld worden. De stalling kan bij een te sterk beschadigde constructie mogelijk langere tijd buiten gebruik zijn (weken tot maanden).
6. Inpandige fietsenstalling: lokaal kan de constructie beschadigd zijn; deze moet hersteld worden. De stalling kan bij een te sterk beschadigde constructie mogelijk langere tijd buiten gebruik zijn (weken tot maanden).

	7. Inpandige fietsenstalling: leidingwerk in de stalling kan deels weggebrand zijn. Dit kan van invloed zijn op het opereren van het station (geschatte hersteltijd weken tot maanden). <i>Kosten</i> 8. Enkele tienduizenden tot honderdduizenden euro's.
Maatregelen ter voorkoming van de ontstaansoorzaken ⁸	a. Afstand tussen fietsen, fatbikes en scooters voldoende groot houden om brandoverslag te voorkomen [1, 2]. b. Brandoverslag wordt voorkomen door inzet van bedrijfshulpverleners [1, 2]. c. Automatische blusinstallatie [1, 2]. d. Brandoverslag wordt voorkomen door de inzet van de brandweer [1, 2].
Maatregelen ter beperking van de effecten ⁹	a. Aanwezig zijn tijdens waarschuwen om weg te gaan bij de brand [1, 2]. b. Zorgen dat mensen bij een brand niet de stalling in kunnen [1, 2]. c. Ontgrendelen van belemmeringen in de vluchtwegen, zoals OV-chip-poortjes, bij een brand [1,2]. d. Stalling overzichtelijk indelen en zorgen voor voldoende vluchtwegen die voldoende ver uit elkaar liggen [1,2]. e. Preparatie van medewerkers en calamiteitendienst op omgaan met brand in een fietsenstalling (procedures, opleiden en oefenen) [1 t/m 8]. f. Automatische blusinstallatie [1 t/m 8]. g. Constructie bestand tegen brand [5, 6, 8]. h. Leidingwerk afschermen van brand [7]. i. Brandweer tijdens waarschuwen en inzet brandweer mogelijk maken [1 t/m 8]. j. Scooters zoveel mogelijk buiten stallen [1 t/m 8]. k. Elektrische fietsen zoveel mogelijk buiten stallen [1 t/m 8]. l. Fatbikes zoveel mogelijk buiten stallen [1 t/m 8].

2.4.3 Cascade 3: 'ruimte fietsenstalling in brand'

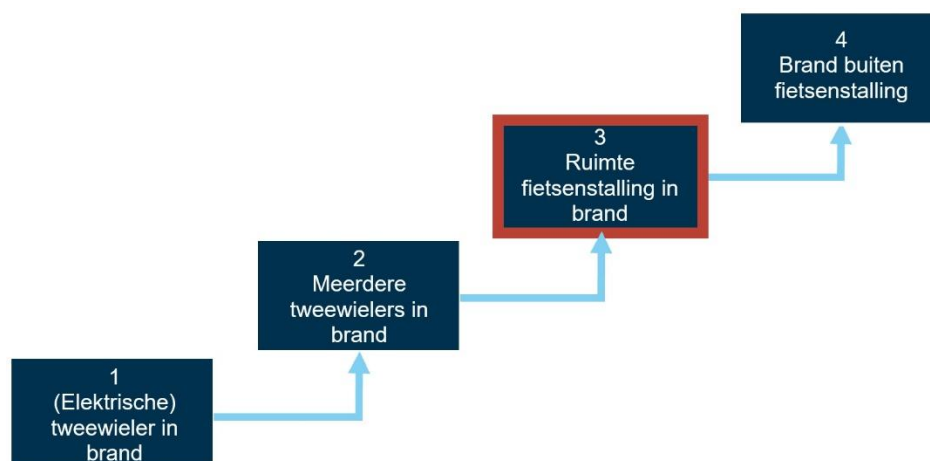
Als de brand nog niet gestopt is in de cascade 'meerdere tweewielers in brand', kan hij verder in omvang toenemen tot aan de cascade 'ruimte fietsenstalling in brand'.

Bij een maaiveldstalling en een fietsflat (onder voorwaarde van open zijanten) wordt verwacht dat de rook en warmte weg kunnen stromen, waardoor voorkomen wordt dat de hete rooklaag zo warm wordt dat de brand zich zo ver ontwikkelt, dat de gehele ruimte gelijktijdig in brand staat. Voor een maaiveldstalling of fietsflat geldt wel dat zonder ingrijpen uiteindelijk de gehele stalling kan uitbranden. Voor een inpandige fietsenstalling geldt dat het wel mogelijk is dat de gehele stalling gelijktijdig in brand staat.

Bij deze cascade is de kans op het blussen van de brand door de brandweer erg klein. Wanneer een volledige fietsenstalling brandt, is het brandvermogen vaak te groot om te kunnen blussen. Een binnenaanval om het bluswater op het vuur te kunnen krijgen, is vaak niet meer verantwoord mogelijk door bijvoorbeeld te beperkt zicht, een te hoge temperatuur en een kans op rookgasontbrandingen. De persoonlijke veiligheid van aanwezigen en personeel wordt sterk bedreigd als mensen niet tijdig de ruimte kunnen verlaten. Dit alles is beschreven in de volgende cascade 'ruimte fietsenstalling in brand' (zie figuur 2.13 en tabel 2.10).

⁸ Tussen [] staan de ontstaansoorzaken die door de maatregelen mogelijk voorkomen kunnen worden. In paragraaf 2.5.2 staat nadere informatie over deze maatregelen.

⁹ Tussen [] staan de effecten die door de maatregelen mogelijk beperkt kunnen worden. In paragraaf 2.5.2 staat nadere informatie over deze maatregelen.



Figuur 2.13 Cascade ‘ruimte fietsenstalling in brand’

Tabel 2.10 Uitwerking cascade ‘ruimte fietsenstalling in brand’

Cascade 3: ‘ruimte fietsenstalling in brand’	
Brandkenmerken	Er branden tientallen tot meer dan duizend (elektrische) fietsen, fatbikes en scooters. Indien aanwezig, branden andere brandbare objecten in de fietsenstalling ook mee. Het brandvermogen varieert van enkele tientallen MW’s tot honderden MW’s. Een brand heeft zuurstof nodig. In deze fase wordt de brand zuurstofbeheerst. De hoeveelheid toegevoerde zuurstof bepaalt het brandvermogen en brandverloop. Het brandvermogen is daardoor sterk afhankelijk van de toevoer van zuurstof (1,5 - 3 MW per m² opening (Brandweeracademie, 2020)) en hoeveel tweewielers er tegelijk branden. Bij de brand komen grote hoeveelheden warmte, verstikkende, toxische en irriterende gassen vrij. Ook kunnen flinke hoeveelheden zichtbare rook (roet) vrijkomen. Stallingen zullen hierdoor (bijna) volledig gevuld worden met rook. Er zal ook rookverspreiding plaatsvinden naar andere bouwdelen die verbonden zijn met de stalling.
Interventiekenmerken	De kans op een offensieve blussing door de brandweer is vanwege het brandvermogen en de complexiteit van de situatie (inzetdiepte, locatie van de brand onbekend vanwege de rook et cetera) erg klein in deze cascade. De inzet van de brandweer zal zich voornamelijk richten op het ontruimen van door rook bedreigde gebieden en het voorkomen van branduitbreiding naar andere gebouwen of bouwdelen (defensieve inzet). Het voorkomen van branduitbreiding kan het beste door het nog niet brandende deel nat te houden (Vogel & Post, 2018). Het voorkomen van branddoorslag door een brandwerende scheiding met behulp van de inzet van de brandweer is in de praktijk vaak lastig. Een defensieve buiteninzet is vaak wel goed mogelijk. Hiervoor is een vrije ruimte nodig tussen de ruimte die brandt en de ruimte waarnaar brandoverslag moet worden voorkomen. Voor het debiet van het nathouden van de gevel van de nog niet brandende ruimte moet $10 \text{ l / min} \cdot \text{m}^2$ gerekend worden (het debiet is dus afhankelijk van het geveleppervlak van het object waar overslag naar moet worden voorkomen) (Vogel & Post, 2018).
Menskenmerken	Mensen die niet tijdig de ruimte hebben kunnen verlaten, komen te overlijden. Wanneer de brand is uitgebreid tot een volledige ruimte in brand is er geen sprake meer van een overleefbare situatie in de fietsenstalling. Vanwege het beperkte zicht in de ruimte en de hevigheid van de brand zullen mensen niet

snel besluiten om de fietsenstalling in te gaan om hun fiets, fatbike of scooter eruit te halen.

Omgevingskenmerken	In deze cascade is sprake van een grote hoeveelheid rook. Vanwege het brandvermogen zal de rookpluim goed opstijgen (met uitzondering van de dooffase / nablusfase van de brand).
Ontstaansoorzaken	1. De straling vanuit de hete rooklaag zorgt ervoor dat alle materialen in de ruimte gaan pyrolyseren (temperatuur hete rooklaag 500 – 600 °C). 2. Brandbare objecten in de stalling komen in contact met de hete rooklaag. De hete rooklaag heeft een temperatuur die ten minste de (zelf)ontbrandingstemperatuur van de brandbare objecten is). 3. De brand is zodanig in omvang toegenomen, dat een groot deel van de brandbare materialen in de ruimte in brand staat.
Effecten	<i>(Persoonlijke) veiligheid</i> 1. Aanwezigen in de ruimte lopen brandwonden op of ademen rook in. Wanneer mensen niet tijdig de ruimte kunnen ontluchten, zullen er dodelijke slachtoffers vallen. <i>Beschikbaarheid spoor</i> 2. Afhankelijk van de windrichting en ligging van de fietsenstalling ten opzichte van het spoor, kan er rookoverlast zijn op het spoor of station. De overlast kan uren aanhouden. Een en ander is afhankelijk van de duur van de brand (en die is voornamelijk afhankelijk van de omvang van de fietsenstalling, toevoer van zuurstof en brandbeheersende maatregelen). In de nafase van de brand, wanneer het merendeel van de tweewielers is weggebrand, kan er nog langere tijd rookoverlast zijn in de omgeving. Voor het volledig afblussen van de brand kunnen mogelijk sloopwerkzaamheden uitgevoerd moeten worden. Dit kan, afhankelijk van het benodigde sloopwerk, uren tot dagen duren. 3. Inpandige stalling: specifiek voor een inpandige stalling geldt dat een beschadigde constructie ervoor kan zorgen dat ook een deel van het station niet meer bruikbaar is wanneer er sprake is van verbondenheid van de constructies. <i>Klanttevredenheid</i> 4. Het door de brand getroffen deel van het gebouw is maanden niet bruikbaar. 5. Inpandige fietsenstalling: leidingwerk in de stalling is weggebrand. Dit kan afhankelijk van het doel van het leidingwerk mogelijk van invloed zijn op het opereren van het station (geschatte hersteltijd maanden). <i>Kosten</i> 6. Afhankelijk van de hoeveelheid schade aan het gebouw varieert de schade tussen de honderdduizend en enkele miljoenen euro's.
Maatregelen ter voorkoming van de ontstaansoorzaken ¹⁰	a. Branduitbreiding wordt voorkomen door inzet van de brandweer [1 t/m 3]. b. Branduitbreiding wordt voorkomen door een automatische blusinstallatie [1 t/m 3].
Maatregelen ter beperking van de effecten ¹¹	a. Aanwezigen tijdig waarschuwen om weg te gaan bij de brand [1]. b. Voldoende vluchtmogelijkheden en goede omstandigheden voor ontluchting [1]. c. Preparatie van medewerkers en calamiteitendienst op ontruiming bij brand (procedures, opleiden en oefenen) [1].

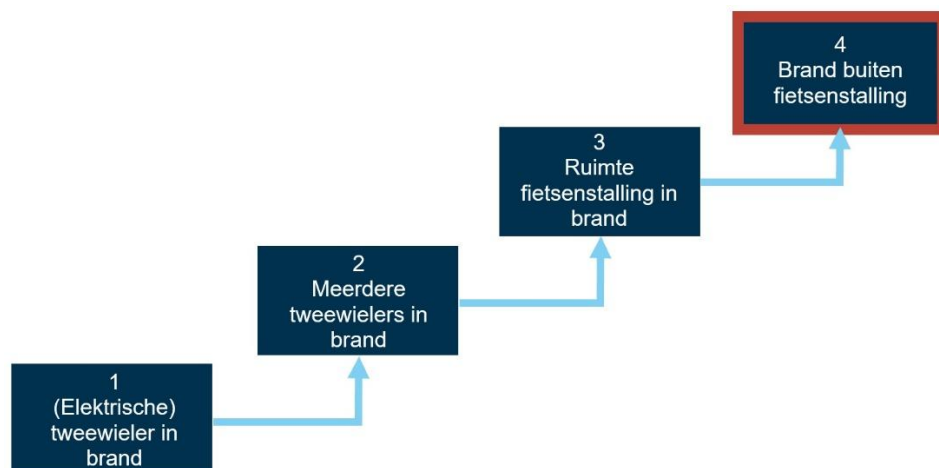
¹⁰ Tussen [] staan de ontstaansoorzaken die door de maatregelen mogelijk voorkomen kunnen worden. In paragraaf 2.5.2 staat nadere informatie over deze maatregelen.

¹¹ Tussen [] staan de effecten die door de maatregelen mogelijk beperkt kunnen worden. In paragraaf 2.5.2 staat nadere informatie over deze maatregelen.

- d. Automatische blusinstallatie [1 t/m 6].
- e. Fietsenstalling opdelen in meerdere brandcompartimenten [1 t/m 6].
- f. Constructie bestand tegen brand [2 t/m 6].
- g. Leidingwerk afschermen van brand [5].
- h. Preparatie op het herstellen na een brand / alternatieve voorzieningen creëren na een brand [3 t/m 5].

2.4.4 Cascade 4: 'brand buiten fietsenstalling' (enkel bij een inpandige fietsenstalling)

Als de brand nog niet gestopt wordt in de cascade 'ruimte fietsenstalling in brand', kan hij verder in omvang toenemen tot aan de cascade 'brand buiten fietsenstalling'. Deze cascade is alleen mogelijk bij een inpandige fietsenstalling die in een gebouw zit of daar relatief dichtbij staat. Bij deze cascade is de kans op het blussen van de brand door de brandweer nihil. Door de branduitbreiding en de rookverspreiding moeten ook delen van het gebouw buiten de fietsenstalling ontruimd worden. Meer ruimtes dan enkel de fietsenstalling zijn tijdelijk niet bruikbaar na de brand (zie figuur 2.14 en tabel 2.11).



Figuur 2.14 Cascade 'brand buiten fietsenstalling'

Tabel 2.11 Uitwerking cascade 'brand buiten fietsenstalling'

Cascade 4: 'brand buiten fietsenstalling'	
Brandkenmerken	De gehele fietsenstalling staat in brand. De brand heeft zich verder uitgebreid tot buiten de fietsenstalling Het brandvermogen varieert van enkele tientallen MW's tot honderden MW's. Een brand heeft zuurstof nodig. In deze fase wordt de brand zuurstof-beheerst. De hoeveelheid toegevoerde zuurstof bepaalt het brandvermogen en brandverloop. Het brandvermogen is daardoor sterk afhankelijk van de toevoer van zuurstof (1,5 - 3 MW per m² opening (Brandweeracademie, 2020)) en hoeveel er tegelijk brandt. Bij de brand komen grote hoeveelheden warmte, verstikkende, toxische en irriterende gassen vrij. Ook zullen flinke hoeveelheden zichtbare rook (roet) vrijkomen. Ruimtes waar de brand is, kunnen hierdoor (bijna) volledig gevuld worden met rook. Er zal ook rookverspreiding plaatsvinden naar andere bouwdelen die verbonden zijn met de ruimtes waar brand is.
Interventiekenmerken	De kans op een offensieve blussing door de brandweer is vanwege het brandvermogen en de complexiteit van de situatie nihil in deze cascade. De

	inzet van de brandweer zal zich voornamelijk richten op het ontruimen van door rook bedreigde gebieden en het voorkomen van branduitbreiding (defensieve inzet). Het voorkomen van branduitbreiding kan het beste door het nog niet brandende deel nat te houden (Vogel & Post, 2018). Het voorkomen van branddoorslag door een brandwerende scheiding met behulp van de inzet van de brandweer is in de praktijk vaak lastig. Een defensieve buiteninzet is vaak wel goed mogelijk. Hiervoor is een vrije ruimte nodig tussen de ruimte die brandt en de ruimte waarnaar brandoverslag moet worden voorkomen. Voor het debiet van het nathouden van de gevel van de nog niet brandende ruimte moet $10 \text{ l / min} \cdot \text{m}^2$ gerekend worden (het debiet is dus afhankelijk van het geveleppervlak van het object waar overslag naar moet worden voorkomen) (Vogel & Post, 2018).
Menskenmerken	Wanneer de brand zich uitbreidt naar het station, kunnen afhankelijk van het station grote groepen mensen bedreigd worden door de rook of moeten evacueren. Grote groepen mensen laten zich soms lastig sturen.
Omgevingskenmerken	In deze cascade is sprake van een grote hoeveelheid rook. Vanwege het brandvermogen zal de rookpluim opstijgen (met uitzondering van de dooffase / nablusfase van de brand).
Ontstaansoorzaken	1. De brand duurt langer of is feller dan waartegen de omhulling van de fietsenstalling bestand is (door onvoldoende brandwerendheid van de wanden, brandwerende deuren die open staan, brandoverslag via openingen et cetera).
Effecten	<i>(Persoonlijke) veiligheid</i> 1. Aanwezigen in het gebouw lopen brandwonden op of ademen rook in. Wanneer mensen niet tijdig het gebouw kunnen ontvluchten, kunnen er dodelijke slachtoffers vallen. <i>Beschikbaarheid spoor</i> 2. Afhankelijk van de windrichting en ligging van de fietsenstalling ten opzichte van het spoor kan er rookoverlast zijn op het spoor. De overlast kan vele uren tot meer dan één dag aanhouden. Een en ander is afhankelijk van de duur van de brand (en die is voornamelijk afhankelijk van de omvang van de fietsenstalling en het uitbreidingsgebied van de brand). In de nafase van de brand, wanneer de ruimtes grotendeels zijn uitgebrand, kan er nog, langere tijd rookoverlast zijn in de omgeving. Voor het volledig afblussen van de brand kunnen mogelijk sloopwerkzaamheden uitgevoerd moeten worden. Dit kan afhankelijk van het benodigde sloopwerk uren tot dagen duren. 3. Inpandige stalling: specifiek voor een inpandige stalling geldt dat een beschadigde constructie ervoor kan zorgen dat een ook een deel van het station niet meer bruikbaar is wanneer er sprake is van verbondenheid van de constructies <i>Klanttevredenheid</i> 4. Het door de brand getroffen deel van het gebouw is maanden niet bruikbaar. 5. Inpandige fietsenstalling: leidingwerk in de ruimtes waar brand is geweest is weggebrand. Dit kan afhankelijk van het doel van het leidingwerk mogelijk van invloed zijn op het opereren van het station (geschatte hersteltijd maanden). <i>Kosten</i> 6. Afhankelijk van de hoeveelheid schade aan het gebouw liggen de kosten tussen de honderdduizend en enkele miljoenen euro's.

Maatregelen ter voorkoming van de ontstaansoorzaken¹²

- a. Muur met voldoende brandwerendheid tussen de fietsenstalling en de rest van het gebouw [1].

Maatregelen ter beperking van de effecten¹³

- a. Aanwezig zijn tijdens waarschuwen om weg te gaan bij de brand [1].
- b. Voldoende vluchtmogelijkheden en goede omstandigheden voor ontvluchting [1].
- c. Preparatie van medewerkers en calamiteitendienst ten aanzien van ontruiming bij brand (procedures, opleiden en oefenen) [1].
- d. (Brand en rook) compartimentering met voldoende brandwerendheid [1 t/m 6].
- e. Preparatie op het herstellen na een brand / alternatieve voorzieningen creëren na een brand [3 t/m 5].

2.4.5 Overige risico's

Een risico dat nog niet is meegenomen, is een brand in een fietskluis bij een maaiveldstalling of een brand waarbij bakfietsen betrokken zijn. Deze risico's worden beoordeeld in deze paragraaf.

Fietskluis

Fietskluizen zijn van onbrandbaar materiaal gemaakt (staal). Tussen de fietskluizen onderling in een rij zit betongaas, waardoor rook en warmte zich onbelemmerd kunnen verspreiden in een rij fietskluizen. Een brand kan zich daardoor snel uitbreiden. Afhankelijk van de tijdigheid waarmee de brand ontdekt wordt en de snelheid van ingrijpen, kunnen er meerdere fietskluizen betrokken zijn bij de brand. Er is veelal vrije ruimte aanwezig rondom een rij fietskluizen. Een brand in een fietskluis zal zich daardoor niet snel uitbreiden tot buiten een rij fietskluizen.

De inzet van de brandweer verschilt niet veel van een inzet bij een gewone maaiveldstalling voor wat betreft het benodigde inzetpotentieel (benodigd koelend vermogen, aantal benodigde eenheden). De toegang tot de fietskluizen is wel een aandachtspunt. De kluizen waar sprake is van een verhoogde temperatuur kunnen namelijk vaak niet meer op reguliere wijze geopend worden vanwege vervorming van het staal. Bij kluizen die minder opgewarmd zijn, gaat dit wel. Om ze snel te kunnen blussen, moeten kluizen makkelijk te openen zijn door de brandweer.

Bakfietsen

De totale vrijkomende energie bij een brand in een bakfiets zal redelijk overeenkomen met die van een fatbike. Omdat bakfietsen meer ruimte in beslag nemen, zal de brandvermogensdichtheid echter lager zijn. Het brandverloop bij een stallingssituatie met bakfietsen zal daardoor trager verlopen dan een brand in een stallingssituatie met fatbikes. Een brand in een stallingssituatie met enkel bakfietsen zal naar verwachting veelal geblust kunnen worden door de brandweer. Hierbij geldt als voorwaarde dat de brand wel tijdig gedetecteerd en de brandweer tijdig gealarmeerd moet worden.

2.4.6 Onzekerheden in het brandverloop

Alle risico's volledig wegnemen is niet mogelijk (en zinvol). Bij elke inschatting van het brandverloop worden keuzes gemaakt die een bepaalde onzekerheid kennen. Dit maakt dat

¹² Tussen [] staan de ontstaansoorzaken die door de maatregelen mogelijk voorkomen kunnen worden. In paragraaf 2.5.2 staat nadere informatie over deze maatregelen.

¹³ Tussen [] staan de effecten die door de maatregelen mogelijk beperkt kunnen worden. In paragraaf 2.5.2 staat nadere informatie over deze maatregelen.

een brand soms anders kan verlopen dan vooraf ingeschat is. De volgende onzekerheden zijn op dit moment in beeld:

- > Er zijn experimenten uitgevoerd van branden in stallingssituaties met fietsen, fatbikes en scooters. Er zijn echter nog weinig daadwerkelijke branden met (elektrische) tweewielers geweest in stallingen. Dit maakt dat het onzeker is wat voor branden er nu echt zullen plaatsvinden in stallingen en wat de effectiviteit en slagingskans van eventuele maatregelen zijn.
- > Er is voor het berekenen van het brandvermogen van een accu uitgegaan van een accucapaciteit van 500 Wh en 100 % SOC. Deze waarden zijn op dit moment voor het merendeel van de elektrische fietsen representatief. Het is echter onduidelijk welke toekomstige ontwikkelingen er zullen zijn op het gebied van de accucapaciteit van elektrische fietsen en welke invloed deze mogelijk hebben op de brandkenmerken van een accu.
- > Ook andere toekomstige ontwikkelingen op het gebied van tweewielers, zoals bijvoorbeeld de uitvoering of het materiaalgebruik, kunnen mogelijk van invloed zijn op het brandverloop.
- > In de experimenten met een stallingssituatie is gezien dat (delen) van gasveren van het fietsparkeersysteem met grote kracht wegschoten. De fietsen in het fietsparkeersysteem zorgen deels voor een afscherming tegen dergelijke wegschietende gasveren. Dit betekent, dat wegschietende gasveren met name in het gangpad nabij de brand voor gevaarlijke situaties kunnen zorgen. Er is geen specifiek onderzoek gedaan naar de kracht waarmee en afstand waarover de gasveren wegschieten. Dit maakt dat er onduidelijkheid bestaat over het daadwerkelijke effect(gebied) van de gasveren tijdens een brand. Op het moment dat de eerste gasveer bezweek tijdens de experimenten met een stallingssituatie brandden 7 fietsen (Wolfs & Van Liempd, 2025b). Bij een dergelijk brand van (elektrische) fietsen komt een grote hoeveelheid (zichtbare) rook vrij. Dit maakt dat mensen veelal geneigd zijn om afstand van de brand te nemen. Daarom wordt verwacht dat mensen zich niet meer in het betreffende gebied bevinden wanneer de gasveren wegschieten. Voor de brandweer geldt dat ze naar verwachting op voldoende afstand staat wanneer ze gebruikmaakt van de worplengte van een straal lage druk.
- > Bij een brand in Hilden in Duitsland in 2014 is een bijna explosieve snelheid van verbranding waargenomen, vermoedelijk vanwege de betrokkenheid van Li-ion-accu's (Emergency-Report.de, 2014; RP ONLINE, 2014). Of en in welke omstandigheden zo'n heftige verbranding kan voorkomen bij een brand met (grotere hoeveelheden) Li-ion-accu's, is niet bekend.
- > De brandweer heeft een inspanningsverplichting en geen resultaatverplichting (Brandweeracademie, 2014). Uiteraard doet de brandweer altijd haar uiterste best om een incident te bestrijden, maar ze kan geen garantie geven. Omdat het blussen van een brand mensenwerk is, kan het per inzet verschillen welke inzet tactiek wordt gekozen en in welke mate deze succesvol is. Er zitten daarnaast grenzen aan wat de brandweer kan en wat er van haar verwacht mag worden. Dit wordt nader toegelicht in paragraaf 2.5.2.

2.5 Mogelijke maatregelen

In deze paragraaf wordt geadviseerd welke maatregelen genomen kunnen worden ten behoeve van de brandveiligheid van tweewielerstallingen. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen de wettelijk verplichte maatregelen uit het Besluit bouwwerken leefomgeving

(paragraaf 2.5.1) en maatregelen die ProRail naar eigen inzicht aanvullend kan nemen bovenop de wettelijke maatregelen (paragraaf 2.5.2).

2.5.1 Voorschriften in wet- en regelgeving

Het Besluit bouwwerken leefomgeving bevat voorschriften voor veiligheid, gezondheid, bruikbaarheid, energiezuinigheid en milieu. Alle bouwwerken moeten aan deze voorschriften voldoen. Op basis van artikel 1 van de Woningwet en bijlage A van de Omgevingswet is een gebouw een bouwwerk dat een voor mensen toegankelijke, overdekte, geheel of gedeeltelijk met wanden omsloten ruimte vormt. In het Besluit bouwwerken leefomgeving worden de voorschriften gegeven voor bestaande en nieuw te bouwen gebouwen. Een fietsenstalling in een gebouw valt in het Besluit bouwwerken leefomgeving normaliter onder 'overige gebruiksfunctie'. Wanneer een fietsenstalling geen gebouw is, op grond van de definitie in de Woningwet en Omgevingswet, dan valt ze onder de gebruiksfunctie 'bouwwerk geen gebouw zijnde'.

In deze paragraaf wordt op hoofdlijnen aangegeven aan welke eisen voor brandveiligheid een bestaande of nieuw te bouwen fietsenstalling moet voldoen. De eisen in het Besluit bouwwerken leefomgeving zijn er ten aanzien van brandveiligheid op gericht om slachtoffers bij brand te voorkomen en daarnaast ook te voorkomen dat een brand zich uitbreidt naar een ander perceel. Het beperken van de schade door brand of het borgen van de bedrijfscontinuïteit zijn geen brandveiligheidsdoelen van het Besluit bouwwerken leefomgeving.

Van de voor de brandveiligheid relevante hoofdstukken worden de van toepassing zijnde eisen weergegeven, gezien vanuit het oogpunt dat een brand in de fietsenstalling ontstaat. Er is geen volledige weergave gegeven voorschriften die van toepassing zijn op het totale gebouw waarvan de fietsenstalling deelt uitmaakt. Bij dit overzicht is uitgegaan van de gebruiksfunctie '**overige gebruiksfunctie**' en de subgebruiksfunctie '**andere overige gebruiksfunctie**'.

Besluit bouwwerken leefomgeving afdeling 3.2 (bestaande bouw) en 4.2 (nieuwbouw) veiligheid

Paragraaf 3.2.2 (bestaande bouw) en 4.2.2 (nieuwbouw) constructieve veiligheid bij brand

Als de fietsenstalling onderdeel uitmaakt van een gebouw met een vloer van een gebruiksgebied hoger dan 5 meter boven het meetniveau of lager dan 5 meter onder het meetniveau, worden er eisen gesteld aan de bouwconstructie in relatie tot het bezwijken bij brand. Voor nieuwbouw is de eis 90 minuten en bij bestaande bouw 30 minuten. Onder voorwaarde is een reductie mogelijk van 30 minuten bij nieuwbouw.

Paragraaf 3.2.7 (bestaande bouw) en 4.2.7 (nieuwbouw) beperking van het ontwikkelen van brand en rook

Er worden eisen gesteld aan de brand- en rookklasse van constructieonderdelen voor bestaande bouw. In tabel 3.9 worden de eisen weergegeven die gelden voor constructieonderdelen die grenzen aan de binnenlucht bij nieuwbouw.

Tabel 3.9 Eisen voor constructiedelen grenzend aan de binnenlucht

Binnenoppervlak	Brandklasse	Rookklasse	Norm
Nieuwbouw	D	S2	NEN-EN 13501-1
Bestaande bouw	-	-	

Paragraaf 3.2.8 (bestaande bouw) en 4.2.8 (nieuwbouw) beperking van uitbreiding van brand

De fietsenstalling moet in een brandcompartiment liggen. In tabel 3.10 worden de gestelde eisen voor de maximale omvang van het brandcompartiment en de minimaal benodigde weerstand tegen branddoorslag en brandoverslag (WBDBO) tussen de brandcompartimenten onderling weergegeven. Als in het gebouw geen vloer van een gebruiksgebied hoger ligt dan 5 meter boven het meetniveau, kan er bij nieuwbouw een reductie toegepast worden van 30 minuten.

Tabel 3.10 Omvang brandcompartiment en weerstand tegen branddoorslag en -overslag

Type bouw	Omvang	WBDBO
Nieuwbouw	1.000 m ²	60 min.
Bestaande bouw	3.000 m ²	20 min.

De fietsenstallingen van ProRail zijn soms groter dan 1.000 m². In dergelijke gevallen wordt er een beroep gedaan op gelijkwaardigheid en/of een onderbouwing op basis van NEN 6060 of NEN 6079 vastgelegd, om brandcompartimenten groter dan 1.000 m² toe te staan. De kern van de gelijkwaardigheidsonderbouwing is meestal dat de fietsenstalling zelf uit onbrandbare materialen bestaat en dat de fietsen en inrichtingselementen in de fietsenstalling ook maar beperkt brandbaar zijn. Omdat de vuurlast (vrijkomende energie) van een elektrische fiets hoger is dan van een niet-elektrische fiets, moet een eventuele gelijkwaardigheid voor fietsenstallingen met elektrische fietsen opnieuw onderbouwd worden.

Paragraaf 3.2.9 (bestaande bouw) en 4.2.9 (nieuwbouw) verdere beperking van uitbreiding van brand en van verspreiding van rook

Elk brandcompartiment is tevens een subbrandcompartiment. Op basis van de maximaal toegestane loopafstand kan het noodzakelijk zijn dat een brandcompartiment wordt ingedeeld in meerdere subbrandcompartimenten.

Paragraaf 3.2.10 (bestaande bouw) en 4.2.10 (nieuwbouw) vluchtroutes

In deze afdeling worden eisen gesteld aan de maximale loopafstand tot een uitgang van de fietsenstalling (het subbrandcompartiment) die leidt naar het aansluitende terrein en vandaar naar de openbare weg. Daarnaast worden er eisen gesteld aan de beschikbare capaciteit van de vluchtroutes. In tabel 3.11 worden de maximaal toegestane loopafstanden weergegeven. De beide genoemde eisen hebben een directe relatie met het maximaal aantal personen dat tegelijkertijd in de fietsenstalling aanwezig mag zijn.

Tabel 3.11 Maximaal toegestane loopafstanden

Type bouw	Basis	1 pers. per 12 m ²	1 pers. per 30 m ²
Nieuwbouw	30 meter	45 meter	60 meter
Bestaande bouw	75 meter	-	-

Paragraaf 4.2.12 (nieuwbouw) hulpverlening bij brand

Er worden geen prestatie-eisen gegeven; alleen de functionele eis is van toepassing. Het bouwwerk moet zodanig zijn, dat hulpverleners binnen een redelijke tijd personen kunnen redden en brand kunnen bestrijden.

Paragraaf 4.2.12 (nieuwbouw) hoge en ondergrondse gebouwen

Als de fietsenstalling gesitueerd is in een gebouw waarin een vloer van een gebruiksgebied hoger dan 70 meter boven of lager dan 8 meter onder het meetniveau ligt, kunnen er aanvullende voorzieningen noodzakelijk zijn. Deze gebouwen vallen buiten de reikwijdte van het Besluit bouwwerken leefomgeving. Er zal in die gevallen door ProRail aangetoond moeten worden dat er sprake is van dezelfde mate van brandveiligheid als bij de gebouwen die wel binnen de reikwijdte vallen.

**Besluit bouwwerken leefomgeving afdeling 3.7 (bestaande bouw) en 4.7 (nieuwbouw):
bouwwerkinstallaties**

Paragraaf 3.7.1 (bestaande bouw) en 4.7.1 (nieuwbouw) verlichting

Als er binnen de fietsenstalling sprake is van een beschermde (vlucht)route, moet deze besloten ruimte voorzien zijn van noodverlichting.

Paragraaf 3.7.5 (bestaande bouw) en 4.7.5 (nieuwbouw) tijdig vaststellen van brand

Er wordt geen brandmeldinstallatie voorgeschreven voor een fietsenstalling. Als er sprake is van een uitgang van een verblijfsruimte in de fietsenstalling waarbij maar in één richting kan worden gevlucht, is een brandmeldinstallatie met ruimtebewaking noodzakelijk. Op basis van andere gebruiksfuncties in het gebouw waarin ook de fietsenstalling ligt, kan er alsnog een brandmeldinstallatie in de fietsenstalling noodzakelijk zijn.

Paragraaf 3.7.6 (bestaande bouw) en 4.7.6 (nieuwbouw) vluchten bij brand

Er worden geen ontruimingsalarminstallatie en ontruimingsplan voorgeschreven voor een fietsstalling.

De fietsenstalling moet wel voorzien zijn van vluchtrouteaanduiding conform NEN 3011 (nieuwbouw) of NEN 6088 (bestaande bouw). Als in de fietsenstalling noodverlichting noodzakelijk is, dient de vluchtrouteaanduiding binnen 15 seconden na het uitvallen van de voorziening voor elektriciteit gedurende een periode van tenminste 60 minuten aan de zichtbaarheidseisen van artikel 5.2 tot en met 5.6 van NEN-EN 1838 te voldoen.

Deuren in de vluchtroute draaien niet tegen de vluchtrichting in als er meer dan 37 (nieuwbouw) of 60 (bestaande bouw) personen op zijn aangewezen. Als er meer dan 100 personen op de deur zijn aangewezen, dient deze met lichte druk of door een over de volle breedte van de deur aangebrachte panieksluiting conform NEN-EN 1125 geopend te kunnen worden. Een automatische deur of een voorziening voor toegangs- of uitgangsc controle in de vluchtroute mag het vluchten niet belemmeren.

Een beweegbaar constructieonderdeel in een scheidingsconstructie waarvoor een eis aan de weerstand tegen branddoorslag en -overslag of weerstand tegen rookdoorgang geldt, moet zelfsluitend zijn.

Paragraaf 3.7.7 (bestaande bouw) en 4.7.7 (nieuwbouw) bestrijden van brand

In de fietsenstalling moeten voldoende draagbare of verrijdbare blustoestellen aanwezig zijn om een beginnende brand zo snel mogelijk door in het gebouw aanwezige personen te kunnen laten bestrijden.

Bruidsschat Omgevingswet artikel 22.13 bluswatervoorziening

In de bruidsschat van de Omgevingswet zijn een aantal regels opgenomen die voorheen in andere landelijke wetgeving zoals het Bouwbesluit 2012 stonden, maar met de komst van de Omgevingswet onder het lokaal bestuur (gemeenten, waterschappen) vallen. De regels uit de bruidsschat worden automatisch opgenomen in het tijdelijke deel van het omgevingsplan van de gemeente. Eind 2031 moeten alle regels uit de bruidsschat zijn verwerkt in het omgevingsplan (ofwel opgenomen ofwel geschrapt). Vereisten aan bluswatervoorziening betreffen dus een lokale afweging. De basiseis is dat het bouwwerk waar de fietsenstalling in ligt, binnen 40 meter van de brandweeringang een toereikende bluswatervoorziening heeft. Een gemeente kan de bruidsschat regel over de bluswatervoorziening inmiddels verwerkt hebben in het omgevingsplan. De regel in het omgevingsplan kan afwijken van de bruidsschat regel. Voor de vereisten ten aanzien van bluswater moet daarom afgestemd worden met het lokale bevoegd gezag.

2.5.2 Aanvullende maatregelen en richtlijnen

In deze paragraaf worden adviezen gegeven voor maatregelen die mogelijk aanvullend op de wettelijke maatregelen genomen kunnen worden ter beperking van de risico's zoals omschreven in paragraaf 2.4. Ook worden richtlijnen gegeven, bijvoorbeeld ten aanzien van de acties van een BHV'er of toezichthouder bij een brand. Deze maatregelen zijn in basis vrijwillig en moeten gezien worden als een 'cafetariamodel'. Afhankelijk van de situatie kan ProRail kijken welke maatregelen zij in wil zetten. Het is niet altijd nodig om alle maatregelen toe te passen. Dit hangt er ook van af welke effecten acceptabel gevonden worden voor een specifieke stalling. De in de cascades omschreven effecten kunnen als leidraad gebruikt worden. Bij de maatregelen is waar mogelijk op hoofdlijnen omschreven wat de invloed is op het ontstaan van een bepaalde cascade. Grofweg kan gekozen worden uit een aantal doelstellingen die behaald kunnen worden met een bepaald pakket aan brandveiligheidsmaatregelen. Het gaat om de volgende doelstellingen:

- > voorkomen van het ontstaan van brand
- > beperken van de kans op slachtoffers en gewonden
- > beperken van de brandomvang in de stalling (cascade 2)
- > beperken van de effecten van een ruimte in brand (cascade 3)
- > beperken van de branduitbreiding buiten de stalling (cascade 4).

Het kiezen van een van de drie doelstellingen die horen bij cascade 2 tot en met 4 heeft een directe relatie met de effecten die als gevolg van een brand geaccepteerd worden.

De maatregelen zijn algemene adviezen. Voor de implementatie van de maatregelen in een bepaalde stalling is het vaak nodig om de maatregel specifiek voor die stalling nader uit te werken. Waar nodig, is bij de maatregelen aangegeven bij welk type fietsenstalling ze geadviseerd worden (fietskluis, maaiveldstalling, fietsflat, inpandige fietsenstalling).

In tabel 2.12 is een overzicht gegeven van de mogelijke maatregelen. Hierbij zijn per type stalling (inpandig, fietsflat, maaiveld en fietskluis) mogelijke maatregelen gegeven om de verschillende doelstellingen te kunnen behalen. Niet altijd alle maatregelen in een cel van de tabel hoeven toegepast te worden om de doelstelling te kunnen behalen. Verschillende maatregelen kunnen een andere slagingskans of effectiviteit hebben ten aanzien van het behalen van een doelstelling. Meer informatie hierover is te vinden in de beschrijving van de maatregelen in de tekst na de tabel. De wettelijke vereiste maatregelen uit het Besluit bouwwerken leefomgeving hebben een belangrijke bijdrage aan het behalen van de doelstellingen 'beperken van de kans op slachtoffers en gewonden' en 'beperken van de branduitbreiding buiten de stalling'. Om die reden zijn deze ook vermeld in de tabel bij deze doelstellingen.

Tabel 2.12 Overzicht mogelijke maatregelen op hoofdlijnen

	Voorkomen ontstaan (voorkomen cascade 1)	Beperken kans op slachtoffers en gewonden	Beperken van brandomvang in stalling (cascade 2)¹⁴	Beperken effecten van ruimte in brand (cascade 3)	Beperken van branduitbreiding buiten stalling (cascade 4)
Inpandige stalling	> Veilig gedrag stimuleren > Niet laden > Geen accu's toestaan > Geen benzinescooter toestaan > Verdachte accu buiten plaatsen & accu na brand buiten plaatsen	> Voldoe aan Bbl¹⁵ > Evt. brandmeld- en ontruimingsalarminstallatie met sturingen voor ontgrendelen en belemmeringen en verhinderen toegang > Trainen BHV & medewerkers > Vluchtwegen voldoende ver uit elkaar	> VBB-systeem (sprinkler) > Vroegtijdige detectie brand + offensieve inzet brandweer mogelijk maken > Scooters, fatbikes en e-bikes buiten stallen > Fietsenstalling opdelen in meerdere brandcompartimenten > Toezicht + snel ingrijpen BHV / medewerker	> Constructie blijft in stand bij brand + snel herstel constructie > Leidingwerk station of spoor afschermen van brand / niet door stalling laten lopen > Prepareer op een zo snel mogelijk herstel / voorzie in alternatieven na een brand	> Voldoe aan Bbl > Defensieve inzet brandweer mogelijk maken
Fietsflat en maaiveldstalling	> Idem als inpandige stalling	> Voldoe aan Bbl	> Vroegtijdige detectie brand + offensieve of defensieve inzet brandweer mogelijk maken > Fietsenstalling opdelen in meerdere brandcompartimenten > Toezicht + snel ingrijpen BHV / medewerker	> Constructie blijft in stand bij brand + snel herstel constructie (alleen voor fietsflat) > Prepareer op een zo snel mogelijk herstel / voorzie in alternatieven na een brand	> Voldoe aan Bbl > Defensieve inzet brandweer mogelijk maken
Fietskluis	> Veilig gedrag stimuleren > Niet laden > Geen accu's toestaan	> Voldoe aan Bbl	> Stalen plaat tussen kluizen > Onderlinge afstand kluizen	> Niet van toepassing vanwege beperkt aantal fietskluizen op station (beperkte effecten / impact)	> Niet van toepassing. Beperkte brandeffecten buiten de fietskluizen verwacht

¹⁴ Het verschilt per maatregel wat de verwachte brandomvang wordt. Deze ligt ergens tussen cascade 1 (één tweewieler in brand) en cascade 3 (ruimte fietsenstalling in brand). In de beschrijving van de maatregelen is hier meer informatie over te vinden.

¹⁵ Besluit Bouwwerken leefomgeving.

Voorkomen van het ontstaan van een brand in een fietsenstalling

Deze maatregelen hebben betrekking op het voorkomen van het ontstaan van een brand in een elektrische tweewieler. Het ontstaan van een dergelijke brand is iets wat lastig en niet volledig te voorkomen is. Zo kan bijvoorbeeld een beschadigde accu door het omvallen van een fiets er soms weken later voor zorgen dat een fiets ontbrandt.

De volgende maatregelen kunnen een bijdrage leveren aan het voorkomen van het ontstaan van een brand in een elektrische tweewieler:

1. *Communiceer tips voor het veilig gebruik van elektrische tweewielers met gebruikers van de fietsenstallingen, bijvoorbeeld door middel van borden in de fietsenstalling of via de NS-app.*

Hierbij kan mogelijk aangesloten worden bij de tips van de campagne 'Ik laad accuraat' (RAI vereniging et al., 2025).

2. *Sta laden van elektrische tweewielers niet toe in de fietsenstalling.*
3. *Sta accu's niet toe in de fietsenstalling.*
4. *Sta geen benzinescooters toe in de fietsenstalling*

Hiermee kan voorkomen worden dat een brand ontstaat als gevolg van een defect aan de benzinescooter.

5. *Toezicht in fietsenstallingen.*

Door middel van toezicht kan de kans op brandstichting verlaagd worden.

6. *Laat een medewerker een elektrische tweewieler tijdig buiten de fietsenstalling zetten wanneer een accu begint te roken, bol gaat staan of er een penetrante lucht vandaan komt. Na een brand van beperkte omvang dient een accu die in brand heeft gestaan buiten geplaatst te worden om herontsteking te voorkomen.*

Dit kan enkel wanneer de tweewieler niet vast is gezet aan de stalling en binnen de algemene adviezen voor de BHV (zie hieronder). Zodra een accu harder begint te roken, is het weghalen van de tweewieler geen optie meer vanwege mogelijke steekvlammen die plotseling kunnen ontstaan.

Algemeen advies

Inpandige fietsenstalling

7. *Voorzie een inpandige fietsenstalling van een brandmeldinstallatie met automatische bewaking.*

Hierdoor wordt een brand snel ontdekt en kan de brandweer snel gewaarschuwd worden. Voor een snelle alarmering van de brandweer is het van belang om te verifiëren of het om een daadwerkelijke brand gaat. Dit kan door een toezichthouder van de fietsenstalling, maar ook op basis van camerabeelden. Als een brandmelding geverifieerd is, zal de brandweer over het algemeen sneller in actie komen dan bij een brandmelding waarvan het niet zeker is dat er daadwerkelijk brand is. Door de brandmeldinstallatie kunnen verder sturingen plaatsvinden, zoals het opensturen van OV-chip-poortjes of het laten klinken van een ontruimingsalarm.

Beperken kans op slachtoffers en gewonden

In de basis zorgen de voorschriften uit het Besluit bouwwerken leefomgeving naar verwachting voor voldoende zekerheid dat mensen bij een brand veilig buiten kunnen komen. Het ontwerpvoorschrift van ProRail kent verder voorschriften voor een overzichtelijke fietsenstalling met zo weinig mogelijk visuele barrières. Hierdoor kan een brand snel opgemerkt worden door eventuele aanwezigen. Aanwezigen in de fietsenstallingen zijn in de basis zelfredzaam en zullen wanneer ze blootgesteld worden aan brandcondities zoals warmte, zichtbeperking of irriterende en verstikkende gassen geneigd zijn om afstand te nemen van de brand en de brandcondities. De onderstaande maatregelen kunnen

overwogen worden om aanvullend op de wettelijke vereisten de kans op slachtoffers en gewonden verder te reduceren.

Inpandige fietsenstalling

Voor inpandige fietsenstallingen geldt dat er een risico is dat mensen de stalling inlopen terwijl er brand is. Mensen zijn soms geneigd om hun persoonlijke bezittingen veilig te willen stellen (SFPE, 2019). Zij kunnen ook de neiging hebben om door te gaan met het doen van wat ze van plan waren, ook al zijn er signalen dat dit niet meer verstandig is (Kobes, 2008). Specifiek voor een inpandige fietsenstalling geldt dat mensen van buiten zich mogelijk minder bewust zijn van het gevaar binnen en dat ze binnen sneller overvallen kunnen worden door de rook en toxische en irriterende gassen die vrij kunnen komen bij een brand in een accu. Zeker bij fietsenstallingen waar geen sturing van aanwezigen door personeel is door het ontbreken van toezicht of een BHV-organisatie die binnen enkele minuten beschikbaar kan zijn, kan aan de volgende aanvullende maatregelen gedacht worden om de zelfredzaamheid van aanwezigen te stimuleren:

8. *Het toepassen van een brandmeld- en ontruimingsalarminstallatie, bij voorkeur met gesproken woord.*
Mensen worden erop geattendeerd dat ze niet meer de fietsenstalling in moeten gaan. Mensen zijn eerder geneigd om een bericht met gesproken woord op te volgen dan een slow-whoop signaal (Kobes, 2008).
9. *Het verhinderen van de toegang tot de fietsenstalling bij een brand.*
Na detectie van een brand door een brandmeldinstallatie worden toegangsdeuren zo gestuurd dat enkel nog naar buiten gevlucht kan worden door de deuren. Naar binnen gaan via de deuren is dan niet meer mogelijk. Hierbij is het belangrijk dat de BHV en/of de brandweer nog wél naar binnen kan.
10. *Het ontgrendelen van belemmeringen in de vluchtwegen, zoals OV-chip-poortjes, bij een brand.*
11. *Zorgen dat vluchtwegen in de stalling voldoende ver uit elkaar liggen.*
Wanneer een stalling bijvoorbeeld twee vluchtwegen heeft en deze dicht bij elkaar liggen, bestaat eerder de kans dat ze op enig moment gelijktijdig niet bruikbaar zijn vanwege de brandcondities.

Voorkomen van het uitbreiden van een brand in de fietsenstalling

Zoals omschreven in paragraaf 2.3, kan een brand in een aantal situaties groeien in omvang. Door maatregelen te nemen kan ervoor gezorgd worden dat de brand niet doorgroeit tot cascade 2 'meerdere tweewielers in brand' of cascade 3 'ruimte fietsenstalling in brand'. Tot welke brandomvang de brand bij bepaalde maatregelen naar verwachting wordt beperkt, is indien mogelijk bij de maatregelen aangegeven. De maatregel onderlinge afstand tussen fietsen, fatbikes en scooters is niet opgenomen. Reden hiervoor is dat dit geen haalbare maatregel is in verband met het beperkte aantal fietsen dat in dat geval gestald kan worden in vergelijking met de huidige situatie. Brandwerende tussenschotten in een stallingssituatie met fietsen is eveneens niet vermeld. Deze maatregel is praktisch gezien lastig uitvoerbaar, zorgt voor een beperkter aantal fietsen dat gestald kan worden en heeft (negatieve) invloed op de gewenste zichtlijnen en sociale veiligheid.

Fietskluizen

12. *Voor fietskluizen geldt dat de volgende maatregelen mogelijk zijn om de uitbreiding van brand te beperken:*

- a. Pas een gesloten stalen plaat toe tussen de fietskluizen onderling in plaats van betongaas.
- b. Maak kortere rijen met fietskluizen met enige afstand ($>0,1$ m) naar de volgende rij fietskluizen.
- c. Pas een systeem toe om kluisjes te kunnen openen bij een calamiteit, zoals een generale hoofdsleutel die ook beschikbaar is voor de brandweer in geval van een calamiteit.

Maaiveldstalling en fietsflat

De verwachting is dat een brand zich in basis niet uitbreidt tot een ruimte in brand waarbij de gehele stalling gelijktijdig in brand staat (onder voorwaarde van voldoende afvoer van rook en warmte via open zijanten). Zonder ingrijpen kan echter wel de volledige stalling betrokken raken bij een brand. De verwachting is dat de brandweer, indien tijdig gewaarschuwd, over het algemeen een succesvolle offensieve of defensieve (buiten)inzet kan doen. Hierbij is het nodig dat wordt voldaan aan de maatregelen zoals beschreven onder 'inzet brandweer mogelijk maken'. Voor de defensieve buiteninzet geldt dat een inzet ook kan plaatsvinden ter plaatse van een gangpad tussen 2 rijen fietsen. Dit gangpad kan gebruikt worden om een stoplijn te maken.

13. Indien de kans bestaat dat een brand onopgemerkt blijft, kan een brandmeldinstallatie aangebracht worden.

Vanwege de buitensituatie is glasvezeldetectie of detectie met camera's waarschijnlijk de beste optie. De brandweer kan bij tijdige detectie sneller ter plaatse zijn en kan daardoor eerder beginnen met blussen. Voor een snelle alarmering van de brandweer is het van belang om te verifiëren of het om een daadwerkelijke brand gaat. Dit kan door een toezichthouder van de fietsenstalling, maar ook op basis van camerabeelden. Als een brandmelding geverifieerd is, zal de brandweer over het algemeen sneller in actie komen dan bij een brandmelding waarvan het niet zeker is dat er daadwerkelijk brand is.

Inpandige fietsenstalling

In een inpandige fietsenstalling zou een brand uit kunnen groeien tot een ruimte in brand (cascade 3). De volgende maatregelen zijn mogelijk om dit te voorkomen:

14. Stal scooters, fatbikes en elektrische fietsen zoveel mogelijk buiten.

Niet-elektrische fietsen kennen een trager en minder heftig brandverloop dan elektrische fietsen, fatbikes of scooters. Een brand in een stallingssituatie met enkel niet-elektrische fietsen zal zich naar verwachting niet uitbreiden tot cascade 2 'meerdere tweewielers in brand'. Wanneer de brand niet uit zichzelf uitdooft, is de slagingskans van de brandweerinzet groter wanneer er enkel niet-elektrische fietsen in een inpandige fietsenstalling staan (de brand blijft kleiner in omvang en heeft een beperkter brandvermogen). Scooters en fatbikes hebben een hoger piek brandvermogen en meer vrijkomende energie dan (elektrische) fietsen. Door scooters en fatbikes buiten te stallen, worden de tweewielers met het hoogste brandvermogen weggehaald uit een inpandige stalling, waar de inzet van de brandweer het meest uitdagend is. Belangrijk hierbij is wel dat een brand in een stallingssituatie met (elektrische) fietsen ook door kan groeien tot cascade 2 en 3. Het buiten plaatsen van fatbikes en scooters, maar niet van elektrische fietsen, zal dus niet volledig kunnen voorkomen dat een brand kan doorgroeien tot cascade 2 of 3.

15. Voorzie de fietsenstalling van een Vastopgesteld Brandbeheersings- en Brandblussysteem (VBB-systeem) zoals een sprinklerinstallatie, wanneer elektrische fietsen en scooters binnen gestald worden.

Hierdoor zal de brandomvang naar verwachting beperkt blijven tot zo'n 10 – 15 fietsen, 1 - 2 scooters of 3 fatbikes (Wolfs & Van Liempd, 2025b). Rookverspreiding kan over een groter gebied plaatsvinden. Door het beperken van de brandomvang, wordt ook schade aan de constructie sterk beperkt, wordt het wegbranden van leidingen et cetera grotendeels voorkomen en kent de inzet van de brandweer een hogere slagingskans. Een automatische blusinstallatie verkleint de kans op slachtoffers en kent een lage faalkans (Ahrens, 2017). Aandachtspunten bij de toepassing van een sprinklerinstallatie zijn:

- Aandacht voor de projectering van sprinklerkoppen in verband met de beperkte ruimte tussen de bovenste laag fietsen en de sprinklerkoppen. Dit geeft een risico op aftikken of kapot gaan van de sprinklerkop bij het plaatsen van fietsen in de bovenste stallingslaag.
- Een nat sprinklersysteem is alleen geschikt voor vorstvrije ruimtes. Een droog systeem is geschikt voor ruimtes waar het kan vriezen, maar kent wel aanvullende vereisten ten aanzien van het ontwerp.
- Tijdens brandexperimenten met een stallingssituatie is vastgesteld dat een gevarenklasse HC-3 volgens sprinklervoorschrift FM 3-26 geschikt is om een brand tijdig te beheersen en uiteindelijk volledig te blussen (Wolfs & Van Liempd, 2025b). Gevarenklasse HC-3 vereist een sproeidichtheid van 12 mm/min en een sproeioppervlak voor een nat systeem van 230 m². Tijdens de experimenten met een HC-3 gevarenklasse-sprinkler werd de brand beheerst en geblust met één sprinklerkop. Naar verwachting is een sprinklerinstallatie daarom voldoende geschikt voor het beheersen en eventueel blussen van een brand wanneer deze ontworpen wordt op 4 sprinklerkoppen die gelijktijdig geopend worden. Dit zorgt ervoor dat de installatie goedkoper wordt en eenvoudiger te installeren is. In vergelijking met een sproeivlak van 230 m² zal de pomp een lager debiet kunnen hebben, kan de watertank kleiner zijn en kunnen de sprinklerleidingen een kleinere diameter hebben. Dit zorgt er ook voor dat de watervoorziening (pomp en tank) minder ruimte in beslag neemt en dat de constructie van de stalling minder zwaar belast wordt.
- Tijdens de experimenten is gebruikgemaakt van een ontwerp van de sprinkler volgens sprinklervoorschrift FM 3-26. Reden hiervoor is dat het sprinklervoorschrift van FM, in tegenstelling tot NEN-EN 12845, uitgaat van een hogere sproeidichtheid bij een hogere gevarenklasse. Bij NEN-EN 12845 blijft de sproeidichtheid gelijk en wordt het sproeivlak vergroot bij een hogere gevarenklasse. Door te kiezen voor de FM 3-26 als ontwerpnorm kon beter bepaald worden welke sproeidichtheid nodig zou zijn voor een bepaalde intensiteit van een brand. Naar mening van het NIPV kan de sprinklerinstallatie ook ontworpen worden op basis van NEN-EN 12845, zolang er voor de hydraulische ontwerpgegevens maar uitgegaan wordt van een sproeidichtheid van 12 mm/min en een sproeioppervlak van 4 koppen.
- Ter plaatse van een stallingssituatie met fietsen zal er (bij een plafondhoogte van 2,75 meter) naar verwachting niet altijd voldaan kunnen worden aan de vereisten ten aanzien van obstructies in de sprinklervoorschriften. Tijdens de brandexperimenten is gezien dat de fietsen in het fietsparkeersysteem de juiste werking van de sprinklerinstallatie niet hinderen.

Naast het toepassen van een automatische blusinstallatie of het buiten plaatsen van elektrische fietsen en scooters kan ook aan de volgende maatregelen gedacht worden. Deze maatregelen hebben naar verwachting wel een hogere faalkans dan een automatische blusinstallatie.

16. *Toezicht in de fietsenstalling en snel ingrijpen bij een beginnende brand.*
Een brand in een accu laat zich over het algemeen niet blussen, waardoor de faalkans van deze maatregel groter is dan bij een brand in een gewone fiets of een brand waarbij geen accu betrokken is.
17. *De fietsenstalling opdelen in meerdere brandcompartimenten.*
Hierdoor wordt het gebied verkleind dat naar verwachting maximaal getroffen kan worden door een brand. De brand kan zich uiteindelijk nog steeds uitbreiden tot het gehele brandcompartiment, maar door de indeling van de fietsenstalling in meerdere brandcompartimenten wordt bij een goede werking van de compartimentering maar een deel van de fietsenstalling direct getroffen door de brand (één brandcompartiment). Ook bij een goede werking van de brandcompartimentering zijn rookverspreiding en schade als gevolg daarvan naar naastgelegen brandcompartimenten te verwachten.
18. *Plaats scooters en brommers zoveel mogelijk nabij de toegang van de stalling die voor de brandweer toegankelijk is.*
Hierdoor wordt de kans vergroot dat de brandweer de brand van buiten kan blussen. Indien er maar één ingang is, moeten de scooters hier echter juist *niet* geplaatst worden. Mensen gebruiken van nature veelal de reguliere toegangsdeuren als vluchtdeur, en wanneer er maar één reguliere toegangsdeur is, kan een brand in het scooter gedeelte het gebruik van deze toegangsdeur te snel beperken.

Beperken van de effecten van 'ruimte fietsenstalling in brand'

Maaiveldstalling, fietsflat en Inpandige fietsenstalling

Wanneer een brand met de omvang van cascade 3 'ruimte fietsenstalling in brand' zich voordoet, kunnen maatregelen genomen worden om de effecten van deze brand op de onderdelen beschikbaarheid spoor, klanttevredenheid en kosten te beperken. Dit geldt ook wanneer niet verwacht wordt dat de stalling als geheel gelijktijdig in brand kan staan, maar wel volledig uit kan branden. In dit geval wordt niet ingezet op het beperken van de brandomvang, maar op het beperken van de effecten van de brand. Hierbij kan gedacht worden aan de volgende maatregelen:

19. *Fietsflat en inpandige stalling: De constructie mag bij de te verwachten brand niet bezwijken. Daarnaast moet de constructie zo ontworpen worden, dat de hersteltijd na een brand enigszins beperkt blijft. Wat hiervoor nodig is, moet uitgewerkt worden door een constructeur.*

Het bezwijken van de constructie of niet meer betrouwbaar zijn van de constructie na een brand kan forse invloed hebben op de tijd dat de stalling buiten gebruik is. Wanneer delen van het station of het spoor constructief 'steunen' op de constructie van de fietsenstalling, kan dit ook voor het station en het spoor langdurige gevolgen hebben. Bij het ontwerp van de constructie of beschermende maatregelen voor de constructie kan voor de optredende temperaturen indicatief gekeken worden naar de gemeten temperaturen tijdens de brandexperimenten met een stallingssituatie (Wolfs & Van Liempd, 2025b). Deze brandexperimenten betroffen enkel een beginnende brand en zijn dus geen goede afspiegeling van de optredende temperaturen tijdens een brand in de volledige ruimte. Tijdens de brandexperimenten zijn temperaturen tot 1.200 °C gemeten. Dit zijn hogere temperaturen dan volgens de standaard temperatuur-tijd-kromme waar bouw- en constructiedelen normaliter op beproefd worden volgens de bouwregelgeving. Dit is een aandachtspunt voor het ontwerp van de constructie.

Een betonnen constructie kan ook als deze voldoende bestand is tegen bezwijken, fors beschadigen als gevolg van een brand. Ook in dat geval kan het langere tijd duren voordat de constructie hersteld is. Het kan een optie zijn om de constructie te beschermen met een brandwerende schil (bijvoorbeeld middels brandwerende platen). In het geval van een brand blijft de constructie dan in basis intact en hoeft na de brand

enkel de brandwerende schil hersteld te worden. Dit geeft een kortere buiten-gebruik-tijd bij een brand.

20. *Inpandige stalling: zorg dat leidingwerk van het bovengelegen station of spoor niet betrokken raakt bij de brand.*

Dit kan door leidingwerk niet door de stalling te laten lopen of door het leidingwerk met een WBDBO van minimaal 60 minuten volgens NEN 6068:2020 af te schermen. Bij de materiaalkeuze van de afscherming moet rekening gehouden worden met de optredende temperaturen bij een brand in de stalling. Voor de optredende temperaturen kan indicatief gekeken worden naar de gemeten temperaturen tijdens de brandexperimenten met een stallingssituatie (Wolfs & Van Liempd, 2025b). Deze brandexperimenten betroffen enkel een beginnende brand en zijn dus geen goede afspiegeling van de optredende temperaturen tijdens een brand in de volledige ruimte. Tijdens de brandexperimenten zijn temperaturen tot 1.200 °C gemeten. Dit zijn hogere temperaturen dan volgens de standaard temperatuur-tijd-kromme waar bouw- en constructiedelen normaliter op beproefd worden volgens de bouwregelgeving. Toegankelijkheid van het leidingwerk ten bate van bijvoorbeeld onderhoud is een aandachtspunt in het geval van het leidingwerk wordt afgeschermd.

21. *Prepareer op een zo snel mogelijk herstel of creëren van alternatieven na een brand.*

In de fase voordat er een brand is, kan beoordeeld worden wat voor brandscenario zich voor kan doen en welke gevolgen dit met zich meebrengt. Indien gewenst, kan in deze fase ook voorbereid worden op een eventueel herstel van een stalling na een brand of op het verzorgen van alternatieven (bijvoorbeeld het plaatsen van een tijdelijke stalling).

Voorkomen van het uitbreiden van de brand tot buiten de fietsenstalling

Maaiveldstalling, fietsflat en inpandige fietsenstalling

Wanneer de brand zo gegroeid is dat hij zich mogelijk uitbreidt tot buiten de fietsenstalling, zijn veel maatregelen niet meer toepasbaar. Een offensieve blussing door de brandweer of een automatische blusinstallatie zijn niet opgewassen tegen een dergelijke brandomvang. Het enige wat dan nog werkt, is vrije afstand (eventueel ondersteund door de inzet van de brandweer) of een brandmuur. Hierbij kan gedacht worden aan de volgende maatregelen:

22. *Zorg voor een WBDBO van minimaal 60 minuten volgens NEN 6068:2020.*

Voor een eerste indicatie van de warmtestraling als gevolg van brand in een fietsenstalling kan gekeken worden naar de resultaten van de brandexperimenten met stallingssituaties (Wolfs & Van Liempd, 2025b). Hierbij moet rekening gehouden worden met het verschil in stallingsbreedte tussen een echte stalling en de stallingssituaties uit de experimenten (er is sprake van een breder vlak dat warmtestraling geeft bij een echte stalling).

Bij een brandmuur heeft een volledig gesloten stenen of betonnen muur de laagste faalkans. Doorvoeringen, deuren, ramen en de aansluitingen tussen wand en dak zijn plekken waar een brand vaak als eerste door de brandmuur heen gaat. Indien mogelijk, moeten deze onderdelen voorkomen worden in een brandmuur. Om de faalkans van een brandmuur te verlagen, kan deze over een hoogte van ten minste één meter door het dak heen gezet worden. Hoe dichter de brandmuur is (zonder deuren, ramen, doorvoeringen of aansluitingen), hoe minder rook er doordringt naar het naastgelegen compartiment. Een betonnen of stenen muur heeft een relatief hoge thermische traagheid. Dit wil zeggen dat er relatief veel energie nodig is om het beton of de steen op te warmen. Dit maakt dat de temperatuur van het beton of de steen (aan de andere zijde van de brandmuur) relatief traag reageert op de temperaturen tijdens een brand.

Hierdoor is een brandmuur van beton of steen naar verwachting het meest geschikt om voldoende lang in stand te blijven tijdens een brand.

Basisadviezen voor de BHV / toezichthouder van de fietsenstalling

- > Blijf uit de rook, ook als een accu alleen rookt en niet brandt. Bij een brand of een rokende accu kunnen grote hoeveelheden toxische en verstikkende gassen vrijkomen.
- > Bij brand of een rokende fietsaccu: waarschuw de brandweer en ontruim de fietsenstalling.
- > Voer alleen een bluspoging uit wanneer de accu niet betrokken is bij de brand. Wanneer de accu zichtbaar betrokken is bij de brand of er signalen zijn van een thermal runaway (roken accu, afblazen, bol staan van de accu), voer dan geen bluspoging uit. Het blussen van een accu in thermal runaway met een draagbaar blusmiddel lukt in de praktijk veelal niet.
- > Bij een licht rokende accu: plaats de fiets buiten als het mogelijk is om uit de rook te blijven. Lukt het niet om de fiets buiten te plaatsen, leg of zet hem dan in het midden van een gangpad. Lukt het niet om uit de rook te blijven, waarschuw dan de brandweer en ontruim de fietsenstalling.
- > Bij een accu die hevig rookt: afstand houden. Een accu en de rook / dampen uit de accu kunnen plotseling gaan branden en er kunnen steekvlammen van meer dan één meter lang uit de accu komen.
- > Ontruim de fietsenstalling zo snel mogelijk wanneer er brand is. Maak indien mogelijk gebruik van de ontruimingsalarminstallatie. Zorg dat mensen niet meer de fietsenstalling inlopen.
- > Bij aankomst van de brandweer:
 - a. Geef aan wat er brandt, waar het brandt, hoe groot de brand ongeveer is en hoe de brand bereikt kan worden.
 - b. Zorg dat de brandweer toegang heeft tot de ruimte waar de brand is.
 - c. Zorg dat tekeningen van de locatie beschikbaar zijn met preventieve en repressieve brandveiligheidsmaatregelen erop weer gegeven, bijvoorbeeld uit het ontruimingsplan.

Inzet brandweer mogelijk maken

Als het mogelijk is, zal de brandweer een brand blussen. Dat wordt door de brandweer een offensieve inzet genoemd. De brandweer blust daarbij bij voorkeur vanaf buiten. De drie basisvragen voor de brandweer tijdens een brandinzet zijn (Brandweeracademie, 2020):

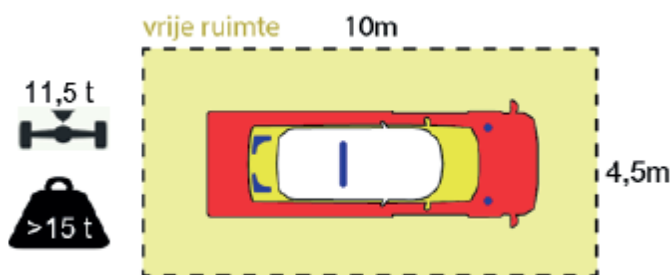
- > Waar zit de brand?
- > Is de brand van buitenaf bereikbaar?
- > Is er voldoende koelend vermogen?

Een inzet *in* een pand (offensieve binneninzet) zal alleen gebeuren als de condities zodanig zijn dat dit onder voldoende veilige omstandigheden kan. Bij een ontwikkelde brand in een inpandige fietsenstalling met een hete rooklaag waarvoor rookgaskoeling nodig is, is een dergelijke inzet in basis alleen mogelijk indien de omvang van de ruimte beperkt is (<70 m²). Daarnaast is de richtlijn in de basisprincipes voor brandbestrijding om maximaal 1 slanglengte (20 meter) door een met rook gevulde ruimte te gaan (Brandweeracademie, 2020). Als geen offensieve inzet gedaan kan worden, zal een defensieve inzet worden uitgevoerd. Bij een defensieve inzet zal niet meer ingezet worden op het blussen van de brand, maar op het voorkomen van uitbreiding van de brand (naar een ander gebouw of object). De bestrijding van een brand is een verantwoordelijkheid van de 25 veiligheidsregio's in Nederland. Er kunnen regionale verschillen zijn tussen de veiligheidsregio's. Het onderstaande moet daarom gezien worden als algemene richtlijnen. Voor een specifieke stalling is het altijd zinvol om met de regionale brandweer of veiligheidsregio af te stemmen.

Maatregelen ter ondersteuning van een offensieve inzet (Brandweer Nederland, 2020)

Deze maatregelen gelden voor alle soorten stallingen. Voor een offensieve binneninzet geldt dat deze over het algemeen alleen uitgevoerd kan worden bij een brand van beperkte omvang (enkele fietsen, fatbikes of één scooter).

23. *Elke plek moet binnen een loopafstand van 60 meter bereikbaar zijn vanaf een locatie waar een tankautospuut neergezet kan worden (opstelplaats).*
24. *Voor een opstelplaats gelden de volgende voorwaarden (zie figuur 2.15):*
- een breedte van 4,5 meter
 - een lengte van 10 meter
 - een vrije doorgangshoogte van 4,2 meter
 - bestand tegen een aslast van 11,5 ton
 - bestand tegen het maatgevende totaal gewicht van de basisvoertuigen die bij een veiligheidsregio in gebruik zijn. In de regel is dit minimaal 15 ton.



Figuur 2.15 Opstelplaats tankautospuut

25. *Vanaf de opstelplaats moet een bluswatervoorziening beschikbaar zijn met een debiet van 60 m³ / uur.*
De bluswatervoorziening mag maximaal 60 meter van de opstelplaats af liggen (dit geldt niet voor open water, een bluswaterriool of een geboorde put. In dat geval is de maximum afstand 8 meter). Het waterconcept verschilt per regionale brandweer. Er moet navraag gedaan worden bij de regionale brandweer wat de wens is in een specifieke situatie.
26. *Wanneer niet aan de bovengenoemde afstanden voldaan kan worden, kan eventueel gewerkt worden met een droge blusleiding conform NEN 1594:2006 + C2:2015.*
27. *Fietsenstallingen zijn bij voorkeur benaderbaar van alle zijden en hebben open zijanten. Hierdoor kan mogelijk van buiten geblust worden.*
28. *Toegangen tot de fietsenstalling zijn toegankelijk voor de brandweer.*
Bij voorkeur zijn dit alle deuren van de fietsenstalling. De toegankelijkheid kan geregeld worden door een toegangssysteem of doordat de BHV sleutels verschaft (de BHV moet dan voldoende snel aanwezig zijn). Het open sturen van deuren door de brandmeld-installatie is mogelijk, maar kan conflicteren met de maatregel om mensen bij een brand niet naar binnen te laten. Het systeem voor toegang tot brandweeringangen verschilt per regionale brandweer. Het exacte systeem moet daarom afgestemd worden met de regionale brandweer.
29. *De constructie van de fietsenstalling bezwijkt niet als gevolg van de brand in die gevallen waarin de brandweer in moet zetten in of onder de fietsenstalling of binnen de valschaduw van de fietsenstalling (vuistregel valschaduw: 2x de hoogte van de gevel of van het object).*

30. *Voorzie in een noodknop waarmee de stroomvoorziening voor het laadproces in de gehele fietsenstalling kan worden gestopt (wanneer er geladen kan worden in de stalling).*

Maatregelen ter ondersteuning van een defensieve buiteninzet

Wanneer een brand zich dreigt uit te breiden tot buiten een fietsenstalling, kan de brandweer een defensieve inzet doen om branduitbreiding naar een ander object of deel van het gebouw te voorkomen. Een defensieve binneninzet waarbij de brand wordt tegengehouden ter plaatse van een brandwerende scheiding is in de praktijk lastig uitvoerbaar; hiervoor bestaan geen standaard inzetadviezen. Een defensieve inzet is daardoor vooral goed toepasbaar als buiteninzet. Hierbij is er vrije ruimte tussen de fietsenstalling en het object waarnaar brandoverslag moet worden voorkomen. Voor de defensieve buiteninzet zijn een aantal maatregelen van belang:

31. *Tussen de fietsenstalling en het andere object is sprake van voldoende vrije of onbebouwde afstand.*

Voor een succesvolle defensieve buiteninzet is een afstand nodig tussen het bouwwerk waar brand is en voldoende water dat effectief opgebracht moet kunnen worden. Welke afstand nodig is, moet afgestemd worden met de regionale brandweer.

32. *De brandweer moet op een veilige plek een defensieve buiteninzet kunnen doen.*

De brandweer moet zich buiten de valschaduw van het brandende pand kunnen opstellen. Dit gebeurt veelal met een waterkanon (1.500 l/min). Vanaf één zijkant kan ongeveer 40 meter gevellengte natgemaakt worden van het nog niet brandende gebouw (grote redenatie op basis van 50 meter worplengte van het waterkanon en 10 meter afstand van de inzetplek van het waterkanon en de zijkant van het brandende bouwwerk, en rekening houdend met een veilige plaatsing en bediening van het waterkanon). De werkelijke benodigde hoeveelheid water hangt af van de hoogte van de gevel. De vuistregel is 10 l/min*m² waterverbruik per vierkante meter geveloppervlak van het niet brandende object (Vogel & Post, 2018). Binnen 50 meter van de plek waar het waterkanon wordt geplaatst, moet een opstelplaats voor de brandweer zijn. Binnen 60 meter van deze opstelplaats moet een waterwinning zijn met een debiet van 90 m³ / uur (dit geldt niet voor open water, een bluswaterriool of een geboorde put. In dat geval is de maximum afstand 8 meter). De watervoorziening moet afgestemd zijn op de specifiek te verwachten inzet. Het verschilt per regio welke middelen beschikbaar zijn voor een defensieve inzet. Er moet met de regionale brandweer afgestemd worden wat mogelijk is in een specifieke situatie.

3 Beantwoording onderzoeksvragen en aanbevelingen

In dit afsluitende hoofdstuk wordt een antwoord gegeven op de verschillende onderzoeksvragen. De laatste paragraaf bevat een aantal aanbevelingen.

3.1 Beantwoording onderzoeksvragen

3.1.1 **Onderzoeksvraag 1: *Wat zijn de ontwikkelingen op het gebied van elektrische tweewielers (fietsen, fatbikes, bakfietsen, scooters) en op het gebied van fietsenstallingen van ProRail?***

Bijna de helft van alle verkochte fietsen in Nederland is op dit moment elektrisch. Van de verkochte brommers en scooters is gemiddeld 41 % een elektrische variant is. Daarnaast is de fatbike populair geworden; 13 % van het aantal verkochte fietsen in Nederland was in 2024 een fatbike. De meeste elektrische tweewielers zijn tegenwoordig voorzien van een Li-ion-accu. In de fietsenstallingen van ProRail zijn daardoor ook meer elektrische tweewielers met Li-ion-accu's te verwachten.

3.1.2 **Onderzoeksvraag 2: *Wat zijn de (brand)veiligheidsrisico's van het stallen en opladen van elektrische tweewielers (fietsen, fatbikes, bakfietsen, scooters) in bestaande en nieuwe fietsenstallingen die onder beheer en/of eigendom vallen van ProRail?***

Vanwege de toename van elektrische tweewielers neemt de kans op brand in een fietsenstalling naar verwachting toe. Wanneer opladen van accu's wordt toegestaan, zal de kans op brand naar verwachting nog verder toenemen. Een brand kan zich sneller en tot grotere omvang ontwikkelen wanneer veel elektrische fietsen aanwezig zijn in een stalling. Wanneer er enkel niet-elektrische fietsen gestald worden, wordt verwacht dat een eventuele brand zich doorgaans niet zal verspreiden naar andere fietsen. In een inpandige fietsenstalling met daarin veel elektrische fietsen kan een brand uitgroeien tot de gehele fietsenstalling. Ook bij een maaiveldstalling of een fietsflat kan de gehele stalling uitbranden. Een maaiveldstalling of fietsflat zal – in tegenstelling tot een inpandige stalling – over het algemeen niet in haar geheel in brand staan. Omliggende ruimtes of objecten kunnen bedreigd worden door een brand in een maaiveldstalling, fietsflat of inpandige stalling. Ditzelfde geldt voor een brand in een stallingssituatie met fatbikes en scooters. Voor bakfietsen wordt verwacht dat de snelheid van brandontwikkeling relatief gematigd verloopt, waardoor de brandweer bij tijdige ontdekking en alarmering veelal een succesvolle inzet kan doen.

3.1.3 Onderzoeksvraag 3: Welke veiligheidsmaatregelen (bouwkundig, installatietechnisch, organisatorisch en repressief) kunnen genomen worden om de brandveiligheid van nieuwe en bestaande fietsenstallingen in relatie tot elektrische fietsen te verbeteren?

Om het risico van een brand in een fietsenstalling te verlagen, zijn verschillende maatregelen denkbaar die bijdragen aan verschillende doelstellingen. Een overzicht op hoofdlijnen hiervan is te vinden in onderstaande tabel. Hierbij zijn per type stalling (inpandig, fietsflat, maaiveld en fietskluis) mogelijke maatregelen gegeven om de verschillende doelstellingen te kunnen behalen. Hierbij geldt dat niet altijd alle maatregelen in een cel van de tabel toegepast hoeven te worden om de doelstelling te kunnen behalen. Verschillende maatregelen kunnen verder een andere slagingskans of effectiviteit hebben ten aanzien van het behalen van een doelstelling. Een uitgebreide beschrijving van de maatregelen is te vinden in paragraaf 2.5.

	Voorkomen ontstaan (voorkomen cascade 1)	Beperken kans op slachtoffers en gewonden	Beperken van brandomvang in stalling (cascade 2) ¹⁶	Beperken effecten van ruimte in brand (cascade 3)	Beperken van branduitbreiding buiten stalling (cascade 4)
Inpandige stalling	> Veilig gedrag stimuleren > Niet laden > Geen accu's toestaan > Geen benzinescooter toestaan > Verdachte accu buiten plaatsen & accu na brand buiten plaatsen	> Voldoe aan Bbl¹⁷ > Evt. brandmeld- en ontruimingsalarminstallatie met sturingen voor ontgrendelen en belemmeringen en verhinderen toegang > Trainen BHV & medewerkers > Vluchtwegen voldoende ver uit elkaar	> VBB-systeem (sprinkler) > Vroegtijdige detectie brand + offensieve inzet brandweer mogelijk maken > Scooters, fatbikes en e-bikes buiten stallen > Fietsenstalling opdelen in meerdere brandcompartimenten > Toezicht + snel ingrijpen BHV / medewerker	> Constructie blijft in stand bij brand + snel herstel constructie > Leidingwerk station of spoor afschermen van brand / niet door stalling laten lopen > Prepareer op een zo snel mogelijk herstel / voorzie in alternatieven na een brand	> Voldoe aan Bbl > Defensieve inzet brandweer mogelijk maken
Fietsflat en maaiveldstalling	> Idem als inpandige stalling	> Voldoe aan Bbl	> Vroegtijdige detectie brand + offensieve of defensieve inzet brandweer mogelijk maken > Fietsenstalling opdelen in meerdere brandcompartimenten > Toezicht + snel ingrijpen BHV / medewerker	> Constructie blijft in stand bij brand + snel herstel constructie (alleen voor fietsflat) > Prepareer op een zo snel mogelijk herstel / voorzie in alternatieven na een brand	> Voldoe aan Bbl > Defensieve inzet brandweer mogelijk maken
Fietskluiz	> Veilig gedrag stimuleren > Niet laden > Geen accu's toestaan	> Voldoe aan Bbl	> Stalen plaat tussen kluizen > Onderlinge afstand kluizen	> Niet van toepassing vanwege beperkt aantal fietskluizen op station (beperkte effecten / impact)	> Niet van toepassing. Beperkte brandeffecten buiten de fietskluizen verwacht

¹⁶ Het verschilt per maatregel wat de verwachte brandomvang wordt. Deze ligt ergens tussen cascade 1 (één tweewieler in brand) en cascade 3 (ruimte fietsenstalling in brand). In de beschrijving van de maatregelen is hier meer informatie over te vinden.

¹⁷ Besluit Bouwwerken leefomgeving.

3.2 Aanbevelingen

Op basis van dit onderzoek worden de volgende aanbevelingen gedaan aan ProRail:

- > Monitor het aandeel elektrische fietsen in de fietsenstallingen. Naarmate dit aandeel toeneemt, neemt ook de kans op een brand toe met een omvang van cascade 2 t/m 4.
- > Maak beleid voor de brandveiligheid van de fietsenstallingen gebaseerd op een risicoafweging met een combinatie van het verwachte brandverloop, de optredende effecten en de gewenste doelstellingen of acceptabele effecten. De maatregelen in paragraaf 2.5 kunnen hierbij als leidraad gebruikt worden. Het aandeel elektrische fietsen kan als input gebruikt worden voor de risicoafweging ten aanzien van het brandveiligheidsrisico van een stallingssituatie met fietsen.
- > Het brandverloop in een stalling is afhankelijk van de stallingssituatie en de uitvoering van de tweewielers. Denk aan de uitvoering van het gebouw (bijvoorbeeld de plafondhoogte) of de capaciteit van de accu's op de tweewielers in de stallingen. Paragraaf 2.2 en 2.3 geven meer inzicht in de factoren die van invloed zijn op het brandverloop. Geadviseerd wordt om periodiek te beoordelen of de uitvoering van tweewielers of de stallingssituatie zodanig zijn veranderd, dat een afwijkend brandverloop te verwachten is.

Literatuurlijst

- AD. (2020). *Vuurzee Domino's in Houten veroorzaakt door smeulende accu bezorgfiets - en dat is níét voor het eerst*. <https://www.ad.nl/utrecht/vuurzee-domino-s-in-houten-veroorzaakt-door-smeulende-accu-bezorgfiets-en-dat-is-niet-voor-het-eerst~ae45ac59/>
- Ahrens, M. (2017). *U. S. Experience with Sprinklers*.
- ANWB. (2020). *Fietsaccu reviseren*. <https://www.anwb.nl/fiets/fietsaccu/fietsaccu-reviseren>
- ANWB. (2025a). *De fatbike: voor- en nadelen op een rij*. <https://www.anwb.nl/fiets/soorten-fietsen/elektrische-fietsen/fatbike-fietsfenomeen-in-opmars>
- ANWB. (2025b). *De fietsaccu in het frame of op de bagagedrager?*
<https://www.anwb.nl/fiets/fietsaccu/fietsaccu-in-frame-of-bagagedrager?>
- Baird, A. R., Archibald, E. J., Marr, K. C., & Ezekoye, O. A. (2020). Explosion hazards from lithium-ion battery vent gas. *Journal of Power Sources*, 446(November 2019), 227257. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2019.227257>
- Battery University. (z.d.). *BU-304a: Safety Concerns with Li-ion - Battery University*. Geraadpleegd 13 augustus 2025, van <https://batteryuniversity.com/article/bu-304a-safety-concerns-with-li-ion>
- Bertels, M., & Hessels, T. (2019). *Cascademodel 3.0*.
- Bosch. (2020). *Bosch-accu's*. <https://www.bosch-ebike.com/nl/producten/accus/>
- BOVAG. (2019). *Zonnig 2018 stuwt omzet fietsbranche naar record*. <https://mijn.bovag.nl/actueel/nieuws/2019/maart/zonnig-2018-stuwt-omzet-fietsbranche-naar-record>
- Brandweer Nederland. (2020). *Bluswatervoorziening en Bereikbaarheid 2019*.
- Brandweeracademie. (2014). *Kwadrantenmodel voor gebouwbrandbestrijding*.
- Brandweeracademie. (2020). *Basisprincipes van brandbestrijding*. Instituut Fysieke Veiligheid.
- Brans, H. (2023a). *Thermal Runaway in een lithium-ion batterijpakket*. NIPV. <https://nipv.nl/nieuws/thermal-runaway-in-een-lithium-ion-batterijpakket/>
- Brans, H. (2023b). *Verkenning toekomstige batterijtypen en veiligheid*. <https://nipv.nl/wp-content/uploads/2023/10/20230712-NIPV-Verkenning-toekomstige-batterijtypen-en-veiligheid.pdf>
- Bright.nl. (2023). *Stromer komt met veiligere e-bike-accu: "Ook veel sneller op te laden"*. <https://www.bright.nl/nieuws/1140352/e-bike-accu-batterij-opladen-veilig-brand-elektrische-fiets-stromer.html>
- Christensen, P. (2022). *EU Energy Storage Systems Safety Conference 2022*. https://www.youtube.com/watch?v=u0l_7OtK7ql&t=2006s
- Consumentenbond. (2025). *Accu elektrische fiets: duur en belangrijk*. <https://www.consumentenbond.nl/elektrische-fiets/accu-van-een-elektrische-fiets>
- Diao, W., Kim, J., Azarian, M. H., & Pecht, M. (2022). Degradation modes and mechanisms analysis of lithium-ion batteries with knee points. *Electrochimica Acta*, 431. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0013468622013007>
- DNV-GL. (2019). *Technical Reference for Li-ion Battery Explosion Risk and Fire Suppression*.
- Drysdale, D. (2011). *An introduction to fire dynamics* (3rd ed.). John Wiley & Sons, Ltd.
- e-bikeaccu.nl. (2024). *Geschiedenis van elektrische fietsen: van 1890 tot aan vandaag*. <https://www.e-bikeaccu.nl/blog/wat-is-de-geschiedenis-van-de-e-bike#>
- Emergency-Report.de. (2014). *[FLASHOVER BEI LAGERHALLENBRAND] - Mehrere Feuerwehrleute schwer verletzt | Großbrand in Hilden*. https://www.youtube.com/watch?v=vQ1cabt3jXc&feature=emb_logo
- fastfuriousscooters.nl. (2025). *Welke accu en motor kies je bij je elektrische scooter*. <https://www.fastfuriousscooters.nl/blog/welke-accu-en-motor-kies-je-bij-je-elektrische-scooter>
- Fietstest.nl. (2019). *Alles over e-bike accu's*. <https://fietstest.nl/alles-over-elektrische-fietsaccus/>
- Fleischmann, C., Weinschenk, C., Madrzykowski, D., Schraiber, A., & Gaudet, B. (2025).

- Quantifying the Fire Hazard from Li-Ion Battery Fires Caused by Thermal Runaway in E-scooters. *Fire Technology*. <https://doi.org/10.1007/s10694-025-01707-z>
- Gazelle. (2020). *Accu elektrische fiets*. <https://www.gazelle.nl/elektrische-fietsen/accu>
- Golubkov, A. W., Fuchs, D., Wagner, J., Wiltse, H., Stangl, C., Fauler, G., Voitic, G., Thaler, A., & Hacker, V. (2014). Thermal-runaway experiments on consumer Li-ion batteries with metal-oxide and olivin-type cathodes. *RSC Advances*, 4(7), 3633–3642. <https://doi.org/10.1039/c3ra45748f>
- Held, M., Tuchschnid, M., Zennegg, M., Figi, R., Schreiner, C., Mellert, L. D., Welte, U., Kompatscher, M., Hermann, M., & Nachef, L. (2022). Thermal runaway and fire of electric vehicle lithium-ion battery and contamination of infrastructure facility. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 165(December 2021). <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112474>
- Instituut Fysieke Veiligheid. (2020). *Brandveiligheid van parkeergarages met elektrisch aangedreven voertuigen*.
- ivamobility.com. (2025). *Hoe lang gaat een accu van een elektrische scooter mee?* https://www.ivamobility.com/blogs/news/hoelang-gaat-een-accu-van-een-elektrische-scooter-mee?srsId=AfmBOoqAT5wlkMmNc1FP3d_XkulDjgwUb7FVxtGltESZapC4jnsQjulC
- Jin, Y., Zhao, Z., Miao, S., Wang, Q., Sun, L., & Lu, H. (2021). Explosion hazards study of grid-scale lithium-ion battery energy storage station. *Journal of Energy Storage*, 42(August), 102987. <https://doi.org/10.1016/j.est.2021.102987>
- Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid. (2018). *Waar zouden we zijn zonder de fiets en de trein?* <https://www.kimnet.nl/binaries/kimnet/documenten/rapporten/2018/07/12/waar-zouden-we-zijn-sonder-de-fiets-en-de-trein/Waar+zouden+we+zijn+zonder+de+fiets+en+de+trein.pdf>
- Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid. (2023). *Mobiliteitsbeeld 2023*. Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat.
- Kobes, M. (2008). *Zelfredzaamheid bij brand : kritische factoren voor het veilig vluchten uit gebouwen*. Boom Juridische uitgevers.
- kwsseuren.nl. (2025). *Wat zegt het aantal Ah over een accu?* <https://kwsseuren.nl/capaciteiten-aantal-ah>
- Lakkonen, M. (2022). *IFAB webinar “E-bikes on trains / Fire safety” 05.10.2022*. IFAB. https://www.youtube.com/watch?v=2vir4_1qSSc
- Larsson, F., Andersson, P., Blomqvist, P., Lorén, A., & Mellander, B. E. (2014). Characteristics of lithium-ion batteries during fire tests. *Journal of Power Sources*, 271, 414–420. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2014.08.027>
- Larsson, F., Andersson, P., Blomqvist, P., & Mellander, B. E. (2017). Toxic fluoride gas emissions from lithium-ion battery fires. *Scientific Reports*, 7(1), 1–13. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-09784-z>
- NEN. (2019). *NEN-EN 1991-1-2+C3:2019/NB:2019nl*.
- NIPV. (2023a). *Analyse mediaberichten van branden met- Light Electric Vehicles 2020-2022*.
- NIPV. (2023b). *Scenariokaart Li-ion Thuisbatterij in woning*. <https://scenarioboeken.nipv.nl/li-ion-thuisbatterij-in-woning/>
- NIPV. (2023c). *Waterstoftankstation – Lek in bufferopslag-gaswolkexplosie*. <https://scenarioboeken.nipv.nl/waterstoftankstation-lek-in-bufferopslag-gaswolkexplosie/>
- nl.fiido.com. (2025). *De Geschiedenis van Elektrische Fietsen*. <https://nl.fiido.com/blogs/news/the-history-of-electric-bicycles#>
- NS. (2025). *Informatiessysteem HRN CIS*. Informatiessysteem HRN CIS. <https://dashboards.ns.nl/hrncis>
- Nu.nl. (2025). *Tweede Kamer ontvangt helmplicht voor jongeren op e-bike niet met open armen*. <https://www.nu.nl/politiek/6367950/tweede-kamer-ontvangt-helmplicht-voor-jongeren-op-e-bike-niet-met-open-armen.html>
- PGS-beheerorganisatie. (2005). *PGS 2 Methods for the calculation of physical effects*.
- PricewaterhouseCoopers Advisory N.V. (2020). *De kosten van beheer, onderhoud, exploitatie en handhaving van fietsenstallingen bij stations*.
- ProRail. (2013). *Fietsenstallingen bij stations*. https://www.fietsberaad.nl/CROWFietsberaad/media/Kennis/Bestanden/Menukaart_Fietsenstallingen_bij_Stations.pdf?ext=.pdf
- ProRail. (2020). *Ontwerpvoorschrift Bouw en ombouw fietsenstallingen bij stations*.

- RAI Vereniging. (2021). *30 Procent meer elektrische fietsen verkocht in 2020*. <https://www.raivereniging.nl/actueel/nieuws/30-procent-meer-elektrische-fietsen-verkocht-in-2020/>
- RAI vereniging, Bovag, Veiligheidsregio Noord- en Oost-Gelderland, & Veiligheidsregio Brabant-Zuidoost. (2025). *Ik laad accuraat*. <https://iklaadaccuraat.nl/>
- RIVM. (z.d.). *Zoek stoffen | Risico's van stoffen*. Geraadpleegd 15 augustus 2025, van <https://rvszoekstelsysteem.rivm.nl/Stoffen>
- RP ONLINE. (2014). *Feuerwehr Hilden erinnert an schlimmsten Brand*. https://rp-online.de/nrw/staedte/hilden/140914-feuerwehr-hilden-erinnert-an-schlimmsten-brand_aid-32976745
- scooterelektrisch.nl. (2025). *Hoe lang gaat een elektrische scooter accu mee?* <https://scooterelektrisch.nl/kopen-verkopen/hoe-lang-gaat-een-elektrische-scooter-accu-mee/>
- SFPE. (2019). *SFPE Guide to Human Behavior in Fire*. Springer.
- Society of Fire Protection Engineers. (2016). *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering* (M. J. Hurley (red.); 5de ed.). Springer.
- Stichting BOVAG-RAI. (2024). *Mobiliteit in Cijfers - Tweewielers 2024-2025*.
- Stichting BOVAG-RAI. (2025). *Kerncijfers Tweewielers 2025*.
- Takenaka, N., Bouibes, A., Yamada, Y., Nagaoka, M., & Yamada, A. (2021). Frontiers in Theoretical Analysis of Solid Electrolyte Interphase Formation Mechanism. *Advanced Materials*, 33(37), 1–15. <https://doi.org/10.1002/adma.202100574>
- TedXmedia.nl. (2017). *Brand Auke Tweewielers Ede. (Accu explodeert)*. <https://www.youtube.com/watch?v=69Rz-jFNYH0>
- Univé. (2025). *Elektrische scooter opladen*. <https://www.unive.nl/scooterverzekering/elektrische-scooter/accu-en-opladen>
- van Harn, T., Brans, H., & Reinders, J. (2024). *Explosieveiligheid lithium-ion energieopslagsystemen*. NIPV. <https://nipv.nl/wp-content/uploads/2025/01/20241120-NIPV-Explosieveiligheid-lithium-ion-energieopslagsystemen.pdf>
- Verbond van Verzekeraars. (2024). *Ruim 52.000 woningbrandclaims bij verzekeraars in 2023*. <https://www.verzekeraars.nl/publicaties/actueel/ruim-52000-woningbrandclaims-bij-verzekeraars-in-2023>
- Versluis, S., & Wijten, J. H. J. (2024). *Onderzoek relevantie energieopslagsystemen voor omgevingsveiligheid*. RIVM.
- Versluis, S., Wijten, J. H. J., & Te Rietmole, E. J. H. (2024). *Rekenmethode omgevingsveiligheid lithiumhoudende energiedragers*. RIVM.
- Vogel, T., & Post, J. (2018). *Brandoverslag: handelingsperspectief en literatuuronderzoek*. Brandweeracademie (IFV). <https://nipv.nl/wp-content/uploads/2022/02/20180921-BA-Brandoverslag-Handelingsperspectief-en-literatuuronderzoek.pdf>
- Voigt, S., Sträubig, F., Palis, S., Kwade, A., & Knaust, C. (2021). Experimental comparison of Oxygen Consumption Calorimetry and Sensible Enthalpy Rise Approach for determining the heat release rate of large-scale lithium-ion battery fires. *Fire Safety Journal*, 126, 103447. <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2021.103447>
- Wang, Z., Ouyang, D., Chen, M., Wang, X., Zhang, Z., & Wang, J. (2019). Fire behavior of lithium-ion battery with different states of charge induced by high incident heat fluxes. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 136(6), 2239–2247. <https://doi.org/10.1007/S10973-018-7899-Y/FIGURES/12>
- Wolfs, L., & Van Liempd, R. (2025a). *Brandexperimenten (elektrische) fietsen en (elektrische) scooters*. NIPV.
- Wolfs, L., & Van Liempd, R. (2025b). *Brandexperimenten stallingsituatie (elektrische) fietsen, fatbikes en (elektrische) scooters*. NIPV.
- Wu, B. (2021). *Battery fires! What happens when batteries are abused?* <https://www.youtube.com/watch?v=VWMfesebyt4>

Bijlage A Brandkenmerken Li-ion-accu

In deze bijlage worden de brandkenmerken van een Li-ion accu beschreven. Deze brandkenmerken zijn gebruikt om het brandverloop, de mogelijke scenario's en de benodigde maatregelen te bepalen van een stallingssituatie met elektrische tweewielers. Een thermal runaway van een accu kan de volgende effecten geven:

- > toxische en brandbare gaswolk en roet
- > accubrand
- > dampwolkexplosie / wolkbrand

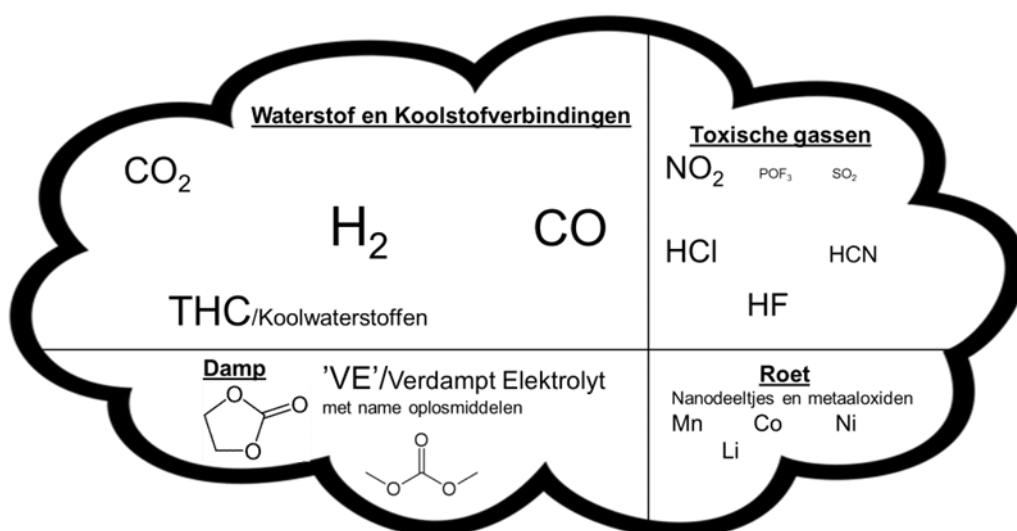
Deze effecten zijn hieronder nader beschreven.

Vrijkomen toxisch en brandbaar gasmengsel

Tijdens een thermal runaway komt een toxisch en brandbaar gasmengsel vrij dat grofweg bestaat uit vier soorten componenten:

1. waterstof en koolstofverbindingen
2. toxische gassen
3. damp
4. roet.

Een schematische weergave van de vier soorten componenten en de vrijkomende stoffen is weergegeven in figuur A.1. Voor deze figuur geldt dat des te groter de letters, des te groter het aandeel is van deze stof in het gasmengsel. Er komen gassen vrij die zowel zwaarder als lichter dan lucht zijn. Naar verwachting kunnen gassen zich daarom door de gehele ruimte verspreiden (NIPV, 2023b).



Figuur A.1. Brandbaar en toxisch gasmengsel thermal runaway

Het volume en de verhouding van de gassen wisselen sterk per type (accu)cel en incident. Dit betekent dat er een grote onzekerheid is in zowel gasvolume als gaspercentages (Baird et al., 2020). Het gerapporteerde totaalvolume van de gevormde gaswolk varieert tussen de 550 – 3.300 l/kWh (DNV-GL, 2019) en 300 – 6.000 l/kWh (Christensen, 2022). Een groot

deel van de gevormde gaswolk bestaat uit waterstof en koolstofverbindingen. Een overzicht is te vinden in tabel A.1 (Christensen, 2022; DNV-GL, 2019; Golubkov et al., 2014). Daarnaast wordt door de verdamping van de elektrolyt een witte dampwolk gevormd die zich hiermee vermengt. Deze damp bestaat voornamelijk uit oplosmiddelen zoals ethyleen-carbonaat en dimethylcarbonaat, die brandbaar en explosief zijn.

Tabel A.1 Percentages waterstof en koolwaterstoffen

Product	Vol%
H ₂ waterstof	15 – 45 %
THC koolwaterstoffen	9 – 36 %
CO ₂ koolstofdioxide	20 – 63 %
CO koolmonoxide	7 – 38 %

In de gevormde gaswolk kunnen zich ook concentraties zeer toxische gassen zoals waterstoffluoride (HF) bevinden. Dit onderscheidt de toxiciteit van andere incidenten zoals bijvoorbeeld een plasticbrand. Over het algemeen zal de algehele toxiciteit van een accubrand echter niet significant verschillen van die van een plasticbrand (DNV-GL, 2019). In tabel A.2 is een indicatie weergegeven van de toxische gassen die kunnen vrijkomen. De waarden zijn gebaseerd op een serie experimenten van DNV (2019). Met deze gegevens zijn denkbare volumes van de toxische gassen berekend, waarbij is uitgegaan van een gevormde toxische gaswolk van 750 l/kWh. Op basis van deze volumes aan toxische gassen is berekend welke massa aan gas is vrijgekomen en tot welk theoretische volume en oppervlak dit zou leiden waar een levensbedreigende waarde bij een verblijf van 10 minuten (LBW 10 min) aanwezig is. Hierbij is uitgegaan van een plafondhoogte van 2,75 meter en de LBW 10 min-waarde op basis van RIVM-zoeksysteem “risico’s van stoffen” (RIVM, z.d.). Deze berekening is een theoretische veronderstelling gebaseerd op een gelijkmatige verspreiding enkel om een weging van de gevaarssetting van de verschillende producten te geven. In de praktijk zal een gas zich minder gelijkmatig verspreiden.

Tabel A.2 Indicatie toxische gassen bij een 750 l/kWh gaswolk

Product	Maximum vol%	l/kWh	Gasvolume bij 500 Wh accu [l]	Massa bij 500 Wh accu [g]	LBW 10 min [mg/m ³]	Volume LBW 10 min [m ³]	Oppervlak LBW 10 min [m ²]
CO koolmonoxide	38,1 %	286	143	166,55	2.000	83	30
HF waterstoffluoride	3,7 %	28	14	11,65	150	77,7	28
NO ₂ stikstofdioxide	9,7 %	73	36,5	69,85	220	318	115
HCL waterstofchloride	9,7 %	73	36,5	55,35	510	109	39
HCN Waterstofcyanide	0,7 %	5	2,5	2,81	110	26	9

In tabel A.2 is te zien dat NO₂ in dit geval relatief gezien de grootste bijdrage aan de toxiciteit heeft. Bij experimenten met (elektrische) fietsen en (elektrische) scooters is ook de vrijkomende hoeveelheid toxische gassen gemeten (Wolfs & Van Liempd, 2025a). Wanneer wordt uitgegaan van de hoeveelheid toxische gassen die vrij is gekomen bij deze experimenten, dan worden de waarden zoals weergegeven in tabel A.3. Voor de waarden in de tabel is uitgegaan van een elektrische fiets zonder accessoires met een 500 Wh accu die volledig opgeladen is. Eenzelfde fiets is als niet-elektrische variant ook getest. De hoeveelheid geproduceerde gassen van de niet-elektrische fiets zijn afgetrokken van die van de elektrische fiets. Op die manier wordt bij benadering gevonden welke hoeveelheid gassen de accu met omhulsel heeft geproduceerd tijdens het experiment. Let wel, dit is een grove benadering, omdat bij de elektrische fiets meer onderdelen (vollediger) zijn verbrand dan bij de niet-elektrische fiets (dit betreft het zadel en een deel van de kettingkast en trappers). Waterstofchloride is tijdens deze experimenten niet gemeten en ontbreekt daarom in de tabel. Stikstofmonoxide is wel gemeten en wordt vermeld in tabel A.3.

Tabel A.3 Toxische gassen uit 500 Wh accu tijdens experimenten met fietsen en scooters

Product	Massa bij 500 Wh accu [g]	LBW 10 min [mg/m ³]	Volume LBW 10 min [m ³]	Oppervlak LBW 10 min [m ²]
CO koolmonoxide	140,5	2.000	70	26
HF waterstoffluoride	6,4	150	43	16
NO ₂ stikstofdioxide	0,6	220	3	1
NO stikstofmonoxide	14	143	98	36
HCN Waterstofcyanide	2,81	110	26	9

In tabel A.3 is te zien dat het volume en oppervlak waar een levensbedreigende waarde kan zijn op onderdelen verschilt van de gegevens in tabel A.2. CO is redelijk gelijk, HF is voor de experimenten bijna de helft lager en HCN is gelijk. Voor NO₂ is het verschil groot: 115 m² bij de experimenten van DNV en 1 m² bij de experimenten met fietsen en scooters. Wanneer het oppervlak op basis van NO uit de experimenten met fietsen en scooters meetelt bij het oppervlak van NO₂, dan wordt het verschil kleiner, maar is nog steeds een factor 3. Er kan behoorlijk wat verschil zitten in de vrijkomende gassen, bijvoorbeeld als gevolg van het type accu of de omstandigheden waarin het betreffende gas vrijkomt (Larsson et al., 2017). Het is belangrijk om hier rekening mee te houden wanneer gerekend zou worden aan de vlucht- en overlevingsmogelijkheden van een specifieke stalling.

Samengevat kan over de vrijkomende toxische gassen gesteld worden dat, ondanks het vrijkomen van zeer toxische gassen zoals HF, de algehele toxiciteit van een accubrand niet significant verschilt van die van een plasticbrand. Er kan redelijk wat spreiding zitten in de hoeveelheid vrijkomende stoffen. Hier moet rekening mee gehouden worden wanneer gerekend wordt aan de vlucht- en overlevingsmogelijkheden van een specifieke stalling.

Roet

Tijdens een thermal runaway wordt ook (zwarte) roet verspreid, dat bestaat uit nanodeeltjes van (zware) metalen en metaaloxiden (Held et al., 2022). Afhankelijk van het subtype batterij betreft het metaaloxiden van nikkel, kobalt, mangaan en lithium. Door onder meer deze

roetdeeltjes blijven de inpandige ruimte en het gebruikte bluswater ook na het incident vervuild. De achtergebleven roetlaag in de ruimte kan namelijk een verhoogde concentratie zware metaaloxiden en fluoriden bevatten. Bij een experiment met een 32 kWh Li-ion NMC-batterijmodule (NMC staat voor nikkel, mangaan en kobalt) in een afgesloten ruimte, bleef een roetlaag over van rond de 20 g/m². De samenstelling van dit roet bedroeg 18-20 massa% nikkel-, mangaan- en kobaltoxiden, 4 massa% lithiumoxide en 2,5 massa% fluoriden. Voor andere subtypen kan de samenstelling van het roet verschillen.

Uit praktijkmetingen blijkt dat het vervuilde bluswater door de gevormde oxiden een sterk verhoogde of verlaagde pH-waarde kan hebben. Zo is bij een incident in België een pH-waarde van 12 gemeten op de bluspakken van brandweerlieden. In Liverpool is direct rondom een uitgebrande module zelfs een pH-waarde van 14 gemeten. Dit is een belangrijk aandachtspunt voor de inzet van de brandweer (NIPV, 2023b). Het is daarnaast ook een aandachtspunt voor het herstel van de stalling na een brand.

Accubrand

Tijdens een accubrand vinden met tussenpozen fakkels en explosies plaats door het opeenvolgend openbreken of exploderen van individuele accucellen. Het brandgedrag van een enkele accucel kan namelijk worden beschreven in vier fasen (Wang et al., 2019):

- > verhitting van de accucel tot het moment van ontsteking,
- > het openbreken van de accucel gepaard met een fakkel, gevolgd door
- > een stabiele brandfase en eindigend met
- > een afnemende fase.

In figuur A.2 zijn typische fakkels weergegeven die vrijkomen uit een 1,7 kWh batterijmodule.



Figuur A.2 Fakkels uit 1,7 kWh batterijmodule (Christensen, 2022)

Doordat tijdens een brand de hitte zich verder over accucellen verspreidt, raken telkens nieuwe accucellen in thermal runaway. Zo kan binnen enkele minuten een beginnende brand van een of enkele cellen zich al uitbreiden tot de gehele accu.

Het feit dat een thermal runaway zichzelf in stand houdt, maakt dat de bestrijding ervan moeizaam verloopt. Daarbovenop komt het feit dat accucellen doorgaans goed zijn verpakt, wat koeling van buitenaf lastig maakt. Opgemerkt dient te worden dat de thermal runaway niet direct stopt zodra de brand is geblust. Zolang de gasproductie door de thermal runaway nog in gang is of de batterij instabiel, blijft het gevaar op herontsteking en explosie bestaan (Christensen, 2022).

Een bijkomend effect van een brand in accu kan zijn dat losse 'cellen' van de accu kunnen wegschieten. Vaak branden de cellen nog op het moment dat ze wegschieten en soms ook nog als ze weer neerkomen. Er is waargenomen dat bij een bepaald incident de cellen meters ver weg schoten, maar ook dat de wegschietende cellen na enkele seconden niet meer brandden (TedXmedia nl, 2017). Bij dit incident veroorzaakten de wegschietende cellen dan ook geen secundaire branden. Bij de calorimeter brandexperimenten met (elektrische) fietsen en (elektrische) scooters is gezien dat bij twee van de vijf elektrische fietsen en een van de zes elektrische scooters accucellen wegschieten en een nabrandduur hebben van meer dan 10 seconden (Wolfs & Van Liempd, 2025a). Tijdens de experimenten in een stallingssituatie is gezien dat cellen soms meer dan 2,15 meter (de breedte van het pad in de stalling) wegschieten en een langere nabrandduur hebben dan 10 seconden (Wolfs & Van Liempd, 2025b). Bij een dergelijke afstand en nabrandduur zou een accucel een secundaire brand kunnen veroorzaken, zowel in de rij waar een of meerdere tweewielers branden als in een andere rij.

De totale brandenergie van Li-ion batterijmodules wordt geschat op negen tot vijftien keer de opgeslagen elektrische energie (Voigt et al., 2021). Bij experimenten met fietsen en scooters was de vrijgekomen energie van een niet-elektrische fiets met kinderzitje 173 MJ. Van dezelfde fiets als elektrische variant was de vrijgekomen energie 212 MJ. Het verschil is $212 - 173 \text{ MJ} = 39 \text{ MJ}$. Van de elektrische fiets zijn de trappers en de elektromotor deels verbrand. Dit was bij de niet-elektrische fiets niet het geval. De bijdrage van de accu en het omhulsel aan de vrijkomende energie zal daardoor iets minder dan 39 MJ zijn geweest. Wanneer wordt uitgegaan van 30 MJ is de vrijkomende energie uit een accu van 500 Wh ($500 \text{ Wh} = 500 \text{ W} \cdot 3.600 \text{ sec} = 1.800.000 \text{ J}$) 17 keer de opgeslagen elektrische energie ($30.000.000 / 1.800.000 = 16,7$). Dit is wat hoger dan in het onderzoek van Voigt et al. (2021) genoemd wordt. Vermoedelijk komt dit doordat het omhulsel van de fietsaccu een grotere bijdrage aan de vrijkomende energie levert dan de batterijmodules die gebruikt zijn in de experimenten van Voigt et al. (2021).

Op basis van experimentele gegevens hebben onderzoekers berekend dat het piek brandvermogen van een lithium-batterij tussen de 110 en 490 Watt per Wattuur ligt (Larsson et al., 2014). Wanneer voor een fiets uitgegaan wordt van een accucapaciteit van 500 Wh en een piek brandvermogen van 490 W/Wh, dan is het piek brandvermogen bij deze accu $500 \cdot 490 = 245.000 \text{ W} = 245 \text{ kW}$. Wanneer wordt uitgegaan van 110 W/Wh, is het brandvermogen $500 \cdot 110 = 55.000 \text{ W} = 55 \text{ kW}$. Er zit dus een flinke spreiding in het piek brandvermogen. Bij experimenten met (elektrische) fietsen was het piekbrandvermogen van een niet-elektrische fiets zonder accessoires 60 kW en van eenzelfde elektrische fiets met een 500 Wh accu (100 % SOC) 251 kW (Wolfs & Van Liempd, 2025a). Bij de niet-elektrische fiets waren de achterband, de bekabeling aan de achterzijde van de fiets en een deel van de kettingkast en het zadel verbrand. Bij de elektrische fiets waren de accu en het omhulsel, de motor(behuizing), de achterband, kettingkast, bekabeling aan de achterzijde, het slot en een deel van de trappers verbrand. De totale bijdrage van de accu aan het piek brandvermogen was in dit geval dus minder dan $251 - 60 = 191 \text{ kW}$. Er zijn immers meer onderdelen verbrand dan bij de niet-elektrische fiets. Het piek brandvermogen van de elektrische fiets werd pas bereikt nadat de accu niet meer in thermal runaway is. Op het moment dat de accu in thermal runaway was, was het brandvermogen tijdens de test 100 – 150 kW. Op basis van de beelden en andere onderdelen die op dat moment brandden, wordt de bijdrage van de accu aan het piek brandvermogen in deze test geschat op ongeveer 100 kW. Dat ligt binnen de brandbreedte van het onderzoek van Larsson et al. (2014).

Belangrijk bij het piek brandvermogen is hoe snel de beschikbare energie in de accucellen vrijkomt. Dit is mede afhankelijk van de reden waarom de accu in thermal runaway komt. Het

Fire Safety Research Institute heeft testen gedaan met elektrische scooters en losse accupakketten (Fleischmann et al., 2025). Een los accupakket van 1.200 Wh is in thermal runaway gebracht met twee verschillende methoden: verhitten en overladen. Bij het scenario met verhitten was het piekbrandvermogen 410 kW op 114 seconden nadat de eerste tekenen van thermal runaway zichtbaar waren. Bij overladen was het piek brandvermogen 1.600 kW na 14 seconden. Het piek brandvermogen bij overladen was niet alleen 4 keer hoger, maar ook vele malen sneller.

Bestrijden (blussen) van een brandende accu

Li-ion-accu's in thermal runaway zijn lastig te bestrijden en te stabiliseren. Dit komt onder meer doordat een thermal runaway zichzelf in stand houdt, alsook door het feit dat blusmiddelen amper bij de accucellen kunnen komen, omdat die zijn beschermd door de behuizing van de accu. Een effectieve koeling wordt bereikt als het blusmiddel (koelmiddel) de accucellen zelf kan bereiken, dus in de accu zelf komt. Wanneer de accu geen voorzieningen heeft om te zorgen dat er blusmiddel in de accu ingebracht kan worden, is onderdompelen gedurende lange tijd (meerdere uren tot enkele dagen) de meest succesvolle optie om een brandende accu te stabiliseren (Instituut Fysieke Veiligheid, 2020). Voor kleine blusmiddelen geldt dat ze veelal enkel de vlammen tijdelijk weg kunnen nemen, maar dat ze niet in staat zijn om een brandende accu te stabiliseren en herontsteking te voorkomen. Bij een accubrand kunnen zich plotse effecten voordoen, zoals een fakkel, steekvlam of een wegschietende accucel. Dit maakt dat een bluspoging met een klein blusmiddel risicovol kan zijn.

Dampwolkeexplosie / wolkbrand

Zoals eerder aangegeven, komt tijdens een thermal runaway een toxisch en brandbaar gasmengsel vrij. Wanneer dit gasmengsel niet direct ontsteekt, kan het mengen met lucht in de stalling en op een later moment ontsteken. Het gaat hierbij dan om een dampwolkexplosie of wolkbrand. Hieronder is nader uiteengezet welke effecten kunnen optreden bij een vertraagde ontsteking. Er wordt daarbij uitgegaan van één accu die in thermal runaway raakt en een vertraagde ontsteking heeft. Het gelijktijdig in thermal runaway raken van twee verschillende accu's zonder externe factoren (zoals een brand die zorgt voor directe ontsteking) wordt als niet realistisch beschouwd.

Om te kunnen rekenen aan de effecten van een vertraagde ontsteking is het allereerst nodig om te bepalen welke samenstelling van gassen vrijkomt uit de accu. In tabel A.4 zijn de gegevens over het vrijkomende gasmengsel gegeven. Dit is gebaseerd op de RIVM-rekenmethode omgevingsveiligheid voor lithiumhoudende energiedragers en een LFP-accu¹⁸ (worst case voor het aandeel brandbare gassen in het vrijkomende gasmengsel) (Versluis et al., 2024). De brandbare componenten zijn met rode tekst weergegeven.

Tabel A.4 Gegevens vrijkomend gasmengsel LFP-accu

Component	mol%	mm (g/mol)	Energie-inhoud ¹⁹ (kJ/mol)	LEL (vol. %)	UEL (vol. %)
CO	12,8	28	283	0,125	0,742
CO ₂	13,3	44	0		
H ₂	31,7	2	240	0,04	0,75

¹⁸ Lithium-ijzer-fosfaat.

¹⁹ Verbrandingswarmte; Lower heating value (LHV) genomen, als in EFFECTS.

Component	mol%	mm (g/mol)	Energie-inhoud ¹⁹ (kJ/mol)	LEL (vol. %)	UEL (vol %)
C2H6	16,3	30	1425	0,03	0,124
C2H4	9,7	28	1321	0,027	0,36
CH4	0,0	16	800	0,05	0,15
NO2	9,7	44	0		
HCl	2,1	36,5	0		
HF	3,7	20	0		
HCN	0,7	27	0		
Totaal	100				
Waarvan brandbaar	70,5		670	5,1	58,4

De verbrandingsenergie van dit gasmengsel kan worden berekend door middel van de formule (Versluis & Wijten, 2024):

$$E = E_{meng} = n * \sum E_{inhoud\ stof} * f_{stof}$$

Hierin is:

E de verbrandingsenergie van het gasmengsel [J]

n het aantal molen [-]

$E_{inhoud\ stof}$ de energie-inhoud van een 1 mol van een bepaalde stof [J/mol]

f_{stof} de molfractie van de stof.

De verbrandingsenergie van 1 mol van het vrijkomende gasmengsel is 670 kJ/mol brandbaar gas. De onderste explosiegrens (LEL: lower explosion limit) van dit mengsel is 5,1 vol.% en de bovenste explosiegrens (UEL: upper explosion limit) is 58,4 %. Dit is bepaald op basis van de mol-verhoudingen van het brandbare gasmengsel en het principe van Le Chartelier (van Harn et al., 2024).

Volgens de RIVM-rekenmethode omgevingsveiligheid voor lithiumhoudende energiedragers komt er 0,936 kg gas/kWh vrij (Versluis et al., 2024). Bij bovenstaande gassamenstelling is dit 39,6 mol/kWh, ofwel $22,4 \text{ l/mol} * 39,6 \text{ mol/kWh} = 887,6 \text{ liter/kWh}$ (bij 273,15 K); waarvan 70,5% brandbaar, ofwel 626 l/kWh (= 27,9 mol/kWh).

Met behulp van deze gegevens over de vrijkomende gassen kan gekeken worden naar de optredende effecten in een fietsenstalling. Deze effecten zijn mede afhankelijk van de accugrootte en gebouwkenmerken. Er is uitgegaan van de volgende uitgangspunten:

- > accucapaciteit van 500 Wh (fietsaccu) of 5.600 Wh (grootste scooteraccu uit de calorimeter experimenten) (Wolfs & Van Liempd, 2025a)
- > plafondhoogte van 2,75 m (worst case voor in pandige stallingen ProRail. Plafondhoogte is 2,75 – 3 m)
- > verschillende groottes van de fietsenstalling
 - oppervlakte van 200 m² en volume van 550 m³
 - oppervlakte van 1.500 m² en volume van 4.125 m³
 - oppervlakte van 5.000 m² en volume van 13.750 m³
- > stalling is deels open of nagenoeg volledig besloten.

Bij het optreden van effecten kunnen zich verschillende situaties voordoen. De twee uiterste situaties voor wat betreft de menging van vrijkomende gassen en optredende effecten zijn:

1. Het vrijkomende brandbare gasmengsel mengt volledig met de lucht in de fietsenstalling.
2. Het vrijkomende brandbare gasmengsel mengt met de omgevingslucht tot het mengsel dat de hoogste vrijkomende energie afgeeft bij verbranding.

Deze twee situaties zijn hieronder nader beschreven.

Situatie 1: Vrijkomende brandbare gasmengsel mengt volledig met de lucht in de fietsenstalling

De grootste accu met een capaciteit van 5,6 kWh zal in totaal $626 \text{ (l/kWh)} \times 5,6 \text{ (kWh)} / 1.000 \text{ (l/m}^3\text{)} = 3,5 \text{ m}^3$ brandbaar gas genereren. Dit geeft $3,5 / 550 \times 100 = 0,63\%$ van het volume van de kleinste stalling (200 m²). De LEL- waarde is 5,1 % en wordt bij lange na niet gehaald. Alleen als het vrije (lucht)volume minder dan 12,5% van het totaal volume van de kleinste fietsenstalling zou bedragen, zou de LEL worden overschreden. Bij goede menging van het vrijkomende gas met de omgevingslucht in de fietsenstalling is er dus geen gevaar voor explosies.

Situatie 2: Vrijkomende brandbare gasmengsel mengt met de omgevingslucht tot het mengsel dat de hoogste vrijkomende energie afgeeft bij verbranding

Volledige menging met de lucht in de fietsenstalling zal niet altijd het geval zijn. Een gasmengsel kan al ontsteken voordat het volledig gemengd is. Voor deze situatie gaan we uit van een mengsel van vrijkomend brandbaar gas met lucht uit de fietsenstalling dat de hoogste vrijkomende energie afgeeft: een ideale menging van brandbare gassen en omgevingslucht. Dit is het geval bij de bovenste explosiegrens (UEL). Die is bepaald met de eerder gegeven formule voor het bepalen van de verbrandingsenergie van een gasmengsel (Versluis & Wijten, 2024). Met deze zelfde formule voor de verbrandingsenergie kunnen de gegevens uit tabel A.5 berekend worden. In deze tabel is ook het volume van het gasmengsel weergegeven, evenals de straal van een denkbeeldige bol die dit volume brandbaar gas zou bevatten. De gegevens staan weergegeven voor twee accucapaciteiten, 500 Wh en 5.600 Wh.

Tabel A.5 Gegevens explosie gaswolk

Accucap. (Wh)	Mol br. gas (n)	f_{stof} bij UEL	$E \text{ (J)}$	$(E/p_a)^{1/3}$	Vol br. gas (bij UEL) (m ³)	Straal gasbol (bij UEL) (m)
500	13,97	0,584	5.47E+06	3,8	0,54	0,50
5.600	156,52	0,584	6.12E+07	8,49	6,00	1,13

Om te kunnen bepalen welk effect de vrijkomende energie bij verbranding geeft, wordt vaak gekeken naar de kritieke drukken in A.6 (NIPV, 2023c). In deze tabel zijn ook de waarden voor P_s' en een indicatie van het slachtofferbeeld weergegeven. Bij het slachtofferbeeld zijn de triageklassen gebruikt. Hierbij hoort de volgende definitie:

- > T1-slachtoffers: hebben onmiddellijke behandeling nodig.
- > T2-slachtoffers: hebben binnen zes uur behandeling nodig.
- > T3-slachtoffers: kunnen ook na zes uur behandeld worden.

Tabel A.6 Schadeniveaus bij bepaalde overdrukken

Overdruk (P_s) (mbar)	Schade	P_s'	Indicatie slachtoffers binnen ²⁰ [%]
> 300	<i>Zware schade</i> Onherstelbare schade 50-70% van de buitenmuren zijn zwaar beschadigd. De overige muren zijn onbetrouwbaar geworden.	0,3	100% letaal
200 tot 300	<i>Gemiddelde schade</i> Beschadigde daken. Ernstige beschadigingen aan draagconstructies, ontzette muren, scheuren in gevels	0,2 tot 0,3	2,5% letaal 21,5% T1/T2 1% T3
100 tot 200	<i>Lichte schade</i> Schade aan deurposten (tot 0,15 bar). Gebouw te gebruiken na kleine reparaties. Herstelbare schade.	0,1 tot 0,2	2,5% letaal 21,5% T1/T2 1% T3
> 20 mbar	Dubbel glas breekt.	> 0,02	0%
> 10 mbar	Enkel glas breekt.	> 0,01	0%

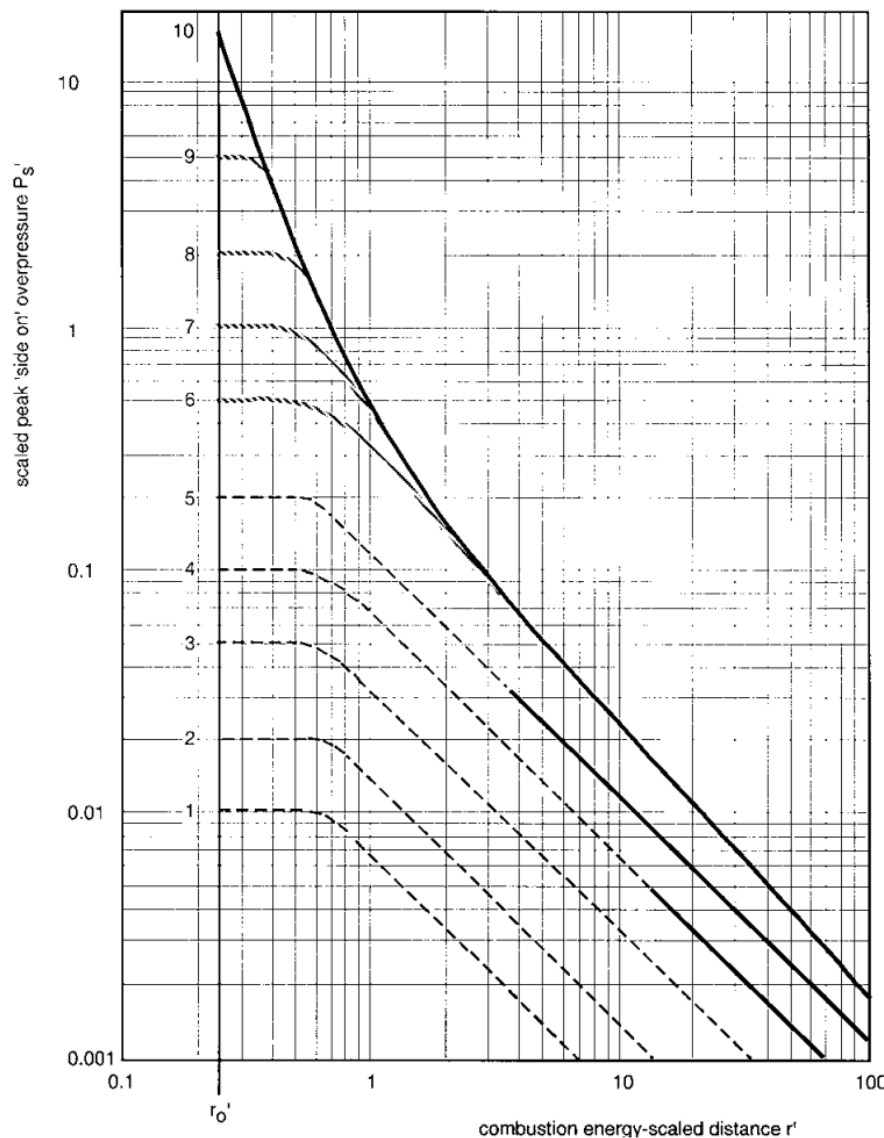
Om de afstanden tot waarop deze drukken zich voordoen te bepalen, is gebruikgemaakt van de methode in paragraaf 5.5 van PGS 2 (PGS-beheerorganisatie, 2005). Hierbij moeten de waardes worden afgelezen in A.3 (PGS-beheerorganisatie, 2005). Het gaat om de geschaalde druk (P_s') en afstand (r'), waaruit vervolgens de werkelijke druk (P_s) en bijbehorende afstand (r) worden berekend. Hiertoe wordt gebruikgemaakt van onderstaande formules:

$$r' = \frac{r}{(E/p_a)^{1/3}}$$

$$P_s' = \frac{P_s}{p_a}$$

p_a staat voor de omgevingsdruk (in Pa) en E voor de (verbrandings)energie-inhoud van het gasmengsel (in J).

²⁰ De in deze tabel gegeven percentages bij slachtoffers zijn secundair. Direct slachtoffer worden van overdruk, zoals door longschade, is niet bepalend voor het letsel. Binnen wordt het letsel m.n. veroorzaakt door scherfwerking en het instorten van gebouwen en muren.



Figuur A.3 Bepaling overdruk van gaswolkexplosie (PGS-beheerorganisatie, 2005)

Er moet een keuze worden gemaakt uit de tien curves in deze figuur. Hierbij spelen de volgende factoren een rol (PGS-beheerorganisatie, 2005):

- > High or low ignition strength (ontstekingsenergie):
De ontsteking zal waarschijnlijk plaatsvinden door een vonk of een heet oppervlak (van bijvoorbeeld een lamp). Dit betekent dat hier gekozen moet worden voor een low ignition strength.
- > High, low of no obstructions (obstructies):
Indien de gaswolk zich bij ontsteking tussen de dicht opeen gepakte fietsen bevindt, zal dit 'high' zijn. Indien de wolk zich meer naar boven of in gangpaden beweegt, en zich dus meer in de vrije ruimte bevindt (of buiten), zal 'low' een betere keuze zijn. Bij de ontsteking van de 500 Wh fietsaccu wordt uitgegaan van obstructions is high. Bij de ontsteking van de 5.600 Wh scooteraccu wordt uitgegaan van obstructions is low, omdat er vrije ruimte is rondom de scooters.
- > Parallel Plane confinement (mate waarin de wolk is ingesloten):
De 'gasbol' die ontstaat bij de thermal runaway van zowel de 500 Wh fietsaccu als de 5.600 Wh scooteraccu zal hooguit de vloer of het plafond 'voelen', maar niet beide (zie kolom 'straal' in tabel A.5). Hierom geldt 'unconfined'.

Op basis van bovenstaande afwegingen in combinatie met tabel 6 in PGS 2 kunnen nu een aantal scenario's worden beschouwd. Deze zijn weergegeven in tabel A.7.

Tabel A.7 Doorgerkende scenario's

Scenario		Ignition strength	Obstructions	Parallel plane confinement	Curve in figuur
500 Wh	Wolk tussen fietsen	low	high	Unconfined	4-5 (5)
5.600 Wh	Wolk in vrije ruimte	low	low	Unconfined	2-3 (3)

Voor de vijf relevante overdrukken (zie tabel A.6) leidt dit tot de afstanden als aangegeven in tabel A.8.

Tabel A.8 Afstanden (in m) tot waarop bepaalde drukken worden bereikt voor de verschillende scenario's

Scenario		300 mbar	200 mbar	100 mbar	20 mbar	10 mbar
500 Wh	Wolk tussen fietsen, unconfined	Niet gehaald; max 200 mbar tot op 2 m	2 m	5 m	23 m	46 m
5.600 Wh	Wolk in vrije ruimte, unconfined	Niet gehaald; max 50 mbar tot op 4 m	Niet gehaald; max 50 mbar tot op 4 m	Niet gehaald; max 50 mbar tot op 4 m	14 m	25 m

Uit tabel A.8 blijkt dat zware schade aan constructies niet of slechts zeer lokaal te verwachten is. In de meeste gevallen zal hooguit lichte schade ontstaan aan (constructie-) onderdelen van de stalling. Er kan ruitbreuk optreden (de grenswaarde is 20 mbar voor dubbel glas). Doden of gewonden zijn niet aannemelijk. Enkel wanneer iemand zich binnen 5 meter van de explosie bevindt, zouden er doden of gewonden kunnen vallen. Mensen zullen naar verwachting meestal afstand nemen wanneer een accu af gaat blazen als gevolg van een thermal runaway. Hierdoor wordt in basis niet verwacht dat mensen zich binnen beperkte afstand van de explosie bevinden.