

Brandexperimenten stalling- situatie (elektrische) fietsen, fatbikes en (elektrische) scooters



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

Auteurs	L. Wolfs, R. van Liempd
Contactpersoon	R. van Liempd

Opdrachtgever	ProRail
Contactpersoon	M. Nahar

Datum	1 december 2025
-------	-----------------

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

Inhoud

	Samenvatting	4
	Inleiding	7
1	Onderzoeksmethode	10
1.1	Experimentele opzet	10
1.2	Datapreparatie	24
1.3	Analyse branduitbreiding	24
2	Resultaten	26
2.1	50 % elektrische fietsen zonder sprinkler	26
2.2	100 % elektrische fietsen met sprinkler gevarenklasse HC-3	34
2.3	Fatbikes zonder sprinkler	40
2.4	Fatbikes met sprinkler gevarenklasse HC-3	47
2.5	Fatbikes met sprinkler gevarenklasse HC-2	53
2.6	Scooters met sprinkler gevarenklasse HC-3	59
3	Beantwoording onderzoeksvragen	66
3.1	(Elektrische) fietsen	66
3.2	Fatbikes	67
3.3	Scooters met sprinkler gevarenklasse HC-3	69
3.4	Overkoepelende samenvatting	70
4	Discussie	71
4.1	De opzet van de experimenten	71
4.2	Het experimentverloop	74
	Literatuurlijst	75
	Bijlage 1 Beschrijving testobjecten	76
	Bijlage 2 Locatie ontstekingsbron	79
	Bijlage 3 Resultaten experimenten	80

Samenvatting

Het aantal elektrische fietsen en scooters in Nederland neemt sterk toe, wat leidt tot nieuwe risico's in stallingen bij treinstations. ProRail wil weten hoe (elektrische) fietsen, fatbikes en scooters zich gedragen bij een brand in inpandige stallingen. Ook heeft ProRail aan het NIPV gevraagd om het brandgedrag en het brandverloop te vertalen naar voorstellen voor concrete brandveiligheidsmaatregelen in inpandige stallingen.

Het onderzoek wordt uitgevoerd in drie fasen:

- > Fase 1 betreft het bepalen van het brandgedrag en brandverloop van (elektrische) fietsen en scooters door middel van praktijkexperimenten.
- > Fase 2 betreft het bepalen van het brandverloop, de kans op branduitbreiding en de optredende temperaturen van de beginfase van een brand in een stalling van fietsen, fatbikes en scooters, inclusief het beproeven van een sprinklerinstallatie.
- > Fase 3 betreft het bepalen van de maatregelen die nodig zijn om een voldoende mate van brandveiligheid te behalen voor de fietsenstalling en op en rond de treinstations.

Dit rapport beschrijft **fase 2**.

De onderzoeksvragen betreffen het brandverloop, de kans op branduitbreiding en de optredende temperaturen van de beginfase van een brand in een stalling met:

- > (elektrische) fietsen en zonder of met sprinkler (gevaarklasse HC-3)
- > fatbikes en zonder of met sprinkler (HC-2 en HC-3)
- > (elektrische) scooters en met sprinkler (HC-3)

Opzet van de experimenten

De experimenten vonden plaats in een nagebouwde stalling in een betonnen gebouw. In het gebouw is een plafond gemaakt op de hoogte die representatief is voor de stallingen van ProRail. Er is gebruikgemaakt van reële, representatieve objecten in een worst-case configuratie (alle plekken bezet, 100 % opgeladen accu's, volle benzinetanks). Het brandverloop is met camera's in beeld gebracht. De kans op branduitbreiding naar een andere rij is bepaald op basis van de metingen van stralingsmeters en beelden van de effecten van een thermal runaway. De optredende temperaturen zijn gemeten met thermokoppels. Tijdens enkele experimenten is een sprinklerinstallatie aangebracht. Er is bij de fatbikes gevarieerd in de sproeidichtheid, de hoeveelheid water die er op een bepaald oppervlak wordt gebracht door de sprinkler. Dit is gedaan om te bepalen bij welke (minimale) sproeidichtheid de sprinkler de brand nog beheerst. Bij de fietsen is deze optimalisatie van het sprinklerontwerp vanwege tijdgebrek niet uitgevoerd.

Resultaten

Fietsen – 50 % elektrische fietsen zonder sprinkler

In dit experiment was de onderste laag van het fietsparkeersysteem gevuld met elektrische fietsen en de bovenste laag met niet-elektrische fietsen. In de bovenste stallingslaag zit per plek een gasveer die zorgt dat er minder kracht nodig is om de fiets bovenin te plaatsen. De resultaten van dit experiment zijn:

- > Tot acht minuten na ontsteking brandde één fiets.

- > Daarna vond er een snelle brandontwikkeling plaats: binnen tien minuten na ontsteking stond een hele rij van veertien fietsen in brand. Twee minuten later waren alle achtentwintig fietsen betrokken bij de brand.
- > Tijdens het experiment zijn tien van de veertien gasveren bezweken. (Delen van) gasveren schoten met grote kracht weg.
- > Branduitbreiding naar een andere rij was aannemelijk.
- > Het belangrijkste deel van de temperatuurmetingen was onvoldoende betrouwbaar. Reden hiervan is dat het merendeel van de thermokoppels niet meer op hun plek zaten na afloop van de test. Er kunnen daardoor geen uitspraken gedaan worden over de optredende temperaturen.

Fietsen – 100 % elektrische fietsen met sprinkler (HC-3)

In dit experiment waren alle plekken van het fietsparkeersysteem gevuld met elektrische fietsen. In de bovenste stallingslaag zat bij de plek recht boven de ontsteking geen gasveer.

De resultaten van dit experiment zijn:

- > De sprinkler activeerde ruim 9,5 minuut na ontsteking (1 kop open). Op dat moment brandden er 11 fietsen. Na activatie van de sprinkler is de brand niet meer uitgebreid naar andere fietsen.
- > Tien minuten na de activatie van de sprinkler brandden er nog drie fietsen. Ruim twintig minuten na de activatie waren er nog enkel kleine vlammen en werd het experiment beëindigd.
- > Branduitbreiding naar de buitenste fietsen in het fietsparkeersysteem is voorkomen. Dit betekent dat de sprinkler in staat is om branduitbreiding in een rij te voorkomen.
- > Branduitbreiding naar een andere rij was niet aannemelijk.
- > De hoogste temperatuur voor activatie van de sprinkler was 971 °C. Na activatie daalde de temperatuur binnen 5 minuten vrijwel overal tot minder dan 100 °C.

Fatbikes

In deze experimenten stonden 10 fatbikes naast elkaar met een onderlinge afstand van 50 cm. De resultaten van het experiment zonder sprinkler zijn:

- > De eerste vijf minuten na ontsteking brandde er één fatbike. Daarna breidde de brand zich ongeveer elke 1,5 minuut uit naar een andere fatbike, totdat 17,5 minuut na ontsteking alle 10 de fatbikes gelijktijdig brandden.
- > Vanwege het wegschieten van accucellen was branduitbreiding naar een andere rij aannemelijk. Kijkend naar de warmtestraling was dit niet aannemelijk bij een opstelling van 10 fatbikes.

De maximaal gemeten temperatuur is > 1.200 °C. Het meetbereik van de thermokoppels was 1.200 °C. De gemeten temperaturen van > 1.200 °C zijn daardoor niet betrouwbaar. De werkelijke temperaturen in de ruimte zijn naar verwachting slechts kortstondig en beperkt hoger geweest dan 1.200 °C.

Voor de experimenten met sprinkler (HC-3 en HC-2) zijn de resultaten:

- > De sprinkler activeerde 8,5 minuut na ontsteking (HC-3, 1 kop open) of bijna 10 minuten na ontsteking (HC-2, 2 koppen open). Op dat moment brandden in beide gevallen drie fatbikes. Na activatie van de sprinkler is de brand niet meer uitgebreid naar andere fatbikes.
- > De vlammen en het vlamvolume van de brand werden na activatie van de sprinkler geleidelijk aan kleiner. De sprinkler kon echter niet voorkomen dat er alsnog een thermal runaway optrad, maar zorgde wel dat de brand zich niet verder uitbreidde.

- > Branduitbreiding naar een andere rij was niet aannemelijk.
- > De hoogste temperatuur voor activatie van de sprinkler was 589 °C (HC-3) of 754 °C (HC-2). Na activatie daalde de temperatuur binnen 2 minuten overal tot minder dan 100 °C.

Scooters met sprinkler (HC-3)

In dit experiment stonden twee rijen van 7 scooters tegenover elkaar. Benzine- en elektrische scooters zijn om en om geplaatst in de rijen. De brand werd ontstoken bij een benzinescooter. De resultaten van dit experiment zijn:

- > De sprinkler activeerde 4 minuten en 10 seconden na ontsteking (1 kop open). Op dat moment brandde één scooter en waren twee naastgelegen scooters sterk aan het pyrolyseren (uitgassen).
- > De sprinkler beheerste de brand tot één scooter in brand. Op momenten laaide de brand tijdelijk op als gevolg van de uitstroom van benzine of het branden onder de buddyseat buiten het bereik van het water uit de sprinkler. De sprinkler zorgde er in die gevallen wel voor dat de brand zich niet verder uitbreidde.
- > 30,5 minuut na ontsteking was de brand nagenoeg uit en werd het experiment beëindigd.
- > Branduitbreiding naar een andere rij was niet aannemelijk.
- > De hoogste temperatuur voor activatie van de sprinkler was 742 °C. Na activatie daalde de temperatuur binnen 5 minuten vrijwel overal tot minder dan 100 °C.

Inleiding

Aanleiding

Er is een toename te zien van het aantal elektrische fietsen in Nederland. Bijna de helft van het totaal aantal verkochte fietsen in Nederland in 2024 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 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 batterij, een ander brandgedrag dan niet-elektrische fietsen (Wolfs & Van Liempd, 2025). 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 en brandverloop van elektrische fietsen in een stalling, heeft het NIPV in het genoemde rapport bepaalde aannames gedaan om tot de voorstellen te kunnen komen.

Omdat het brandgedrag en het brandverloop van (elektrische) fietsen in fietsenstallingen onbekend zijn, is het onduidelijk of de fietsenstallingen voldoende veilig zijn wanneer er (steeds meer) elektrische fietsen gestald worden. En behalve fietsen, zijn er ook steeds meer elektrische scooters die ook in inbandige stallingen gestald moeten worden. Tot op heden worden (elektrische) scooters op stations alleen in stallingen in de buitenlucht geplaatst. Gemeentes en de NS hebben echter aan ProRail gevraagd of het mogelijk is om (elektrische) scooters te laten stallen in inbandige stallingen. Net als van elektrische fietsen zijn het brandgedrag en het brandverloop van (elektrische) scooters in een stalling op dit moment nog onbekend. Het is dus onduidelijk of het toevoegen van (elektrische) scooters in inbandige fietsenstallingen tot een ongewenst risico leidt.

Om bovenstaande redenen heeft ProRail het NIPV gevraagd om aan de hand van praktijkexperimenten in beeld te brengen wat het brandverloop van (elektrische) fietsen en scooters in inbandige stallingen is. Ook heeft ProRail gevraagd om het brandgedrag en het brandverloop te vertalen naar voorstellen voor concrete brandveiligheidsmaatregelen in inbandige stallingen.

Fasering van het onderzoek

Het onderzoek is opgedeeld in drie fases. Fase 1 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 fase 2 wordt het brandverloop bij een brand in een stalling met (elektrische) fietsen en in een stalling met (elektrische) scooters in beeld gebracht door middel van praktijkexperimenten waarvoor een deel van een inpandige stalling is nagebouwd. Hierdoor kan de snelheid worden bepaald waarmee andere fietsen of scooters betrokken raken bij een brand. In fase 2 worden ook brandveiligheidsmaatregelen getest die kunnen bijdragen aan het beperken van de brandomvang in een 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 bepaald worden welke maatregelen nodig zijn om een voldoende mate van brandveiligheid te behalen voor de fietsenstalling en op en rond de treinstations.

Dit rapport gaat in op de resultaten van fase 2.

Doel van het onderzoek

Fase 2 van het onderzoek heeft de volgende doelen:

- > Het bepalen van het brandverloop, de kans op branduitbreiding naar een andere rij en de optredende temperaturen van de beginfase van een brand in een stalling met (elektrische) fietsen of fatbikes zonder sprinklerinstallatie.
- > Het bepalen van het brandverloop, de kans op branduitbreiding naar een andere rij en de optredende temperaturen van de beginfase van een brand in een stalling met (elektrische) fietsen of fatbikes met aanwezigheid van een sprinklerinstallatie.
- > Het bepalen van het brandverloop de kans op branduitbreiding naar een andere rij en de optredende temperaturen van een brand in een stalling met (elektrische) scooters met aanwezigheid van een sprinklerinstallatie.

Deze gegevens kunnen gebruikt worden in fase 3 om nader te bepalen welke maatregelen nodig zijn voor een bepaalde stalling. Het brandverloop kan bijvoorbeeld inzicht geven in de slagingskans van de inzet van de brandweer. De kans op branduitbreiding geeft inzicht in de maximale brandomvang bij een brand in een stalling. De optredende temperaturen geven inzicht in de thermische belasting van bouwconstructies en bouwonderdelen.

Onderzoeksvragen

Bij de hierboven omschreven doelen van fase 2 horen de onderstaande onderzoeksvragen:

(Elektrische) fietsen

1. Wat zijn het brandverloop, de kans op branduitbreiding en de optredende temperaturen van de beginfase van een brand in een stalling zonder aanwezigheid van een sprinklerinstallatie?

2. Wat zijn het brandverloop, de kans op branduitbreiding en de optredende temperaturen van de beginfase van een brand in een stalling met aanwezigheid van een sprinklerinstallatie?

Fatbikes

3. Wat zijn het brandverloop, de kans op branduitbreiding en de optredende temperaturen van de beginfase van een brand in een stalling zonder aanwezigheid van een sprinklerinstallatie?
4. Wat zijn het brandverloop, de kans op branduitbreiding en de optredende temperaturen van de beginfase van een brand in een stalling met aanwezigheid van een sprinklerinstallatie?

(Elektrische) scooters

5. Wat zijn het brandverloop, de kans op branduitbreiding en de optredende temperaturen van de beginfase van een brand in een stalling met aanwezigheid van een sprinklerinstallatie?

Afbakening

Dit rapport beperkt zich tot onderzoek op het niveau van een beginnende brand in een stalling. Ingrijpen door BHV of brandweer is niet meegenomen in het onderzoek. In de experimenten zijn geen laadinfra meegenomen bij de testobjecten. De gebruikte testobjecten (fietsen, fatbikes, scooters) zijn in volledige nieuwstaat met alle onderdelen aanwezig. De beschouwing van de resultaten met het oog op het ontwerp van een stalling en de te nemen brandveiligheidsmaatregelen daarin, valt onder fase 3 en is niet meegenomen in dit rapport.

Leeswijzer

In hoofdstuk 1 is de onderzoeksmethode beschreven. Hoofdstuk 2 gaat in op de resultaten van de branden met fietsen, fatbikes en scooters in een stalling. In hoofdstuk 3 staat de beantwoording van de onderzoeksvragen centraal. Hoofdstuk 4 bevat de discussie.

1 Onderzoeksmethode

Dit hoofdstuk beschrijft de opzet van de praktijkexperimenten en de methode voor de analyse van de te verwachten branduitbreiding.

1.1 Experimentele opzet

In deze paragraaf is de experimentele opzet uitgelegd, met daarbij een beschrijving van de testlocatie en brandruimte, de metingen en het bijbehorend meetprotocol, de testobjecten, de ontstekingsbron en het experimentprotocol. De meetopstelling, het meet- en experimentprotocol en de verwerking van de output van de meetapparatuur tot meetresultaten zijn gekozen dan wel uitgevoerd door het brandlab, dat ook de uitvoering van de experimenten heeft verzorgd: Peutz B.V.(hierna: brandlab). Het NIPV heeft kaders aangegeven voor de keuze en plaatsing van de testobjecten, heeft de locatie van de camera's, thermokoppels en stralingsmeters bepaald en heeft bepaald welke gegevens uit de experimenten verkregen moeten worden. Het NIPV heeft daarnaast de analyse van de kans op branduitbreiding in een stalling uitgevoerd (zie paragraaf 1.3).

1.1.1 Algemene beschrijving

De experimenten hebben plaatsgevonden op 2, 5, 6, 8 en 9 mei 2025 en zijn uitgevoerd door het brandlab. Van de experimenten zijn beelden geregistreerd, zodat kan worden bepaald met welke snelheid (andere) fietsen, fatbikes of scooters betrokken raken bij de brand en of er bijzonderheden tijdens het experiment zijn voorgevallen. Daarnaast is ook de temperatuur geregistreerd op verschillende plekken in de stalling, om het temperatuurverloop in beeld te brengen. Voor het bepalen van de kans op branduitbreiding is de warmtestraling gemeten. Deze is gemeten op de plekken waar in een stallingssituatie een andere rij fietsen, fatbikes of scooters kan staan. Daarnaast zijn de druk en debiet van de sprinklerinstallatie gemeten, om te monitoren hoeveel sprinklerkoppen zijn aangesproken, en wat het waterverbruik en de bijbehorende druk zijn geweest.

Tabel 1.1 op de volgende pagina geeft een overzicht van grootheden die gemeten zijn tijdens de experimenten en vermeldt waarom deze grootheden gemeten zijn.

Tabel 1.1 Gemeten grootheden tijdens het experiment

Grootheid [eenheid]	Reden meting
Beeld Registratie gebeurtenissen: > Branduitbreiding > Afblazen accucellen – Richting [-] – Lengte [m] – Tijdsduur [s] > Wegschieten accucellen – Afstand [m] – Nabrandduur [s] > Lekraken benzinetank [-] > Sprinklers: – Moment activatie sprinkler(s) [-] – Aantal geactiveerde sprinklers [-] – Locatie geactiveerde sprinkler(s) [-] > Overige bijzonderheden experimentverloop [-]	De registratie van gebeurtenissen geeft een beeld van het brandverloop en van het experimentverloop. Het wegschieten van accucellen geeft input voor de analyse van de kans op branduitbreiding.
Straling [kW/m ²]	De stralingsmeters worden gebruikt om te bepalen of brandoverslag naar een andere rij gestalde fietsen, fatbikes of scooters (voorbij het gangpad) te verwachten is.
Temperatuur [°C]	De temperatuurmetingen worden gebruikt voor het in beeld brengen van het temperatuurverloop in de ruimte. Dit kan, indien dit later gewenst is, gebruikt worden om brandsimulaties te valideren. Met de simulaties kan het brandverloop geëxtrapoleerd worden van een deel van een stalling tot een volledige stalling. De temperatuurmetingen kunnen ook gebruikt worden bij het bepalen van de thermische belasting van een brand op de bouwconstructie of op afzonderlijke bouwdelen in een stallingsituatie.
Sprinklerinstallatie: > Druk [bar] > Debiet [l/min]	Om te monitoren hoeveel sprinklerkoppen zijn aangesproken, en wat het waterverbruik en de druk zijn geweest.

In paragraaf 1.1.7 is nader beschreven wat gemeten is, op welke wijze en op welke locaties.

1.1.2 Locatie

De experimenten zijn uitgevoerd op het terrein van het Brandweert Trainingscentrum Kleefse Waard. De testruimte bevond zich in een betonnen gebouw, waarin een deel van een inpandige stalling was nagebouwd. In de testruimte was een plafondconstructie van 6,4 m lang en 7,49 m breed opgebouwd, zodat het plafond aan alle zijden minimaal twee meter buiten de stalling uitstak (figuur 1.1). De onderzijde van het plafond bevond zich op een hoogte van 2,75 m en bestond uit onbrandbare Promatect-platen. Ook was een sprinklerinstallatie bevestigd aan het plafond. Deze sprinklerinstallatie was niet bij alle experimenten actief. Tijdens de experimenten waren de schuifdeuren aan de voorzijde van het gebouw open over een breedte van ongeveer 1 meter. In het dak van het gebouw waren

twee rookluiken open. Deze luiken hadden elk een oppervlak van 1 m². Door deze openingen kon zuurstof toestromen en rook wegstromen. Dit komt overeen met een daadwerkelijke stalling die vaak vele malen groter is en waar in de beginfase rook ook vrij kan wegstromen en voldoende zuurstof beschikbaar is voor de verbranding.



Figuur 1.1 Testgebouw met deel van inpandige stalling nagebouwd

1.1.3 Testobjecten

De testobjecten die zijn gebruikt zijn dezelfde als die in het onderzoek naar het brandverloop en brandgedrag van (elektrische) fietsen en (elektrische) scooters met experimenten onder een calorimeter (Wolfs & Van Liempd, 2025). Uit dit onderzoek is bekend hoe één fiets of scooter brandt en welk brandvermogen en verbrandingsproducten daarbij vrijkomen. Het meten van verbrandingsproducten en brandvermogen is tijdens de experimenten in de stallingssituatie niet mogelijk. Door dezelfde testobjecten te gebruiken en te registreren met welke snelheid ze verbranden, kan daar nu wel een goede inschatting van gemaakt worden.

In het onderzoek van fase 1 waren fatbikes niet meegenomen. Vanwege de toename van het aantal fatbikes in stallingen heeft ProRail verzocht om in deze experimenten van fase 2 ook een stallingssituatie met fatbikes op te nemen. Voor de fatbikes is op basis van een marktverkenning gekozen voor een model met relatief veel brandbare (kunststof) onderdelen en een hoge accucapaciteit. Een dergelijk model kent naar verwachting het snelste brandverloop en de hoogste vrijkomende energie, waardoor de gekozen fatbike op die gebieden als worst case kan worden gezien.

Voor alle testobjecten is gekozen voor een reële worst-case-situatie. Dit betekent bijvoorbeeld accu's met 100 % state of charge en een volle benzinetank. De kenmerken van de gebruikte testobjecten staat in tabel 1.2 tot en met tabel 1.4. De letter bij het testobject komt daarbij overeen met de gebruikte letter in de eerder uitgevoerde experimenten (Wolfs & Van Liempd, 2025). Een beschrijving van de testobjecten staat in bijlage 1. Het exacte merk en type van de testobjecten en accessoires zijn opvraagbaar bij het NIPV.

Tabel 1.2 Kenmerken fietsen

Test object	Type fiets	Accucapaciteit	Plaats accu	Accessoires
A	Niet-elektrische fietsen (framemaat 61 cm)	-	-	Zonder accessoires
B		-	-	Met fietstas, gevuld aan de ene kant met regenpak en aan de andere kant met kleren
D	Elektrische fietsen met kunststof accu case (framemaat 61 cm)	500 Wh	Accu onder de bagagedrager	Zonder accessoires
E		500 Wh	Accu onder de bagagedrager	Met fietstas, gevuld aan de ene kant met regenpak en aan de andere kant met kleren
F		500 Wh	Accu onder de bagagedrager	Met kinderzitje achter

Tabel 1.3 Kenmerken fatbike

Test object	Vermogen/ accucapaciteit	Accessoires
Fatbike	2 accu's van 750 Wh	Geen

Tabel 1.4 Kenmerken scooters

Test object	Type scooter	Nadere gegevens	Vermogen/ accucapaciteit	Accessoires
I	Benzinescooter	6,2 liter benzine	50 cc	Geen
N	Elektrische scooter (in bromfiets-uitvoering)	High-end model	5600 Wh	Met windscherm, topkoffer 30 – 40 liter en helm in topkoffer.

1.1.4 Sprinklerinstallatie

Om duidelijk te krijgen of een sprinkler in staat is om met hoge betrouwbaarheid een brand voldoende klein te houden om afblussen door de brandweer mogelijk te maken, zijn experimenten uitgevoerd met een sprinklerinstallatie. Voor de stallingssituaties zoals beschreven in paragraaf 1.1.5 is niet normatief vastgelegd aan welke ontwerpvereisten een sprinklerinstallatie moet voldoen. Omdat er geen standaard ontwerpvoorschriften voor dergelijke stallingssituaties zijn, is gezocht naar de best passende voorschriften. Er is gevraagd aan het Nederlandse netwerk van sprinklerbedrijven en aan FMGlobal (een Amerikaanse verzekeraar) welk ontwerpvoorschrift en ontwerpvereisten naar verwachting het beste passen bij de stallingssituaties. Op basis hiervan is besloten om aan te sluiten bij het ontwerpvoorschrift FM 3-26 (*Fire Protection for Nonstorage Occupancies*), zie tabel 1.5. De reden hiervoor is dat de ontwerpnormen van FM, in tegenstelling tot NEN-EN 12845, uitgaan van een hogere spreidichtheid bij een hogere gevarenklasse. Hierdoor kan beter

bepaald worden welke sproeidichtheid nodig is voor een bepaalde intensiteit van een brand. In FM 3-26 wordt gewerkt met drie gevarenklassen HC-1, HC-2 en HC-3 (zie tabel 1.5). In FM 3-26 zijn verschillende wijzen van gebruik van een pand en de verwachte intensiteit van de brand daarbij gekoppeld aan een gevarenklasse. Hoe hoger de verwachte intensiteit van de brand, des te hoger de sproeidichtheid en het sproeioppervlak moeten zijn.

Om te bepalen wat de kleinste sproeidichtheid is waarbij de sprinkler een brand in een vroegtijdig stadium kan beheersen, zijn voor fietsen en fatbikes twee verschillende gevarenklassen getest. Op basis van de verwachte brandintensiteit is een stallingssituatie met fietsen getest met een HC-2 en HC-1 gevarenklasse, met fatbikes met een HC-3 en HC-2 gevarenklasse en met scooters met een HC-3 gevarenklasse. Omdat een inpandige stalling van scooters slechts incidenteel voorkomt in de stallingen van ProRail, is het experiment met scooters op verzoek van ProRail met één gevarenklasse (HC-3) uitgevoerd.

Tabel 1.5 Ontwerpvereisten sprinkler volgens FM3-26

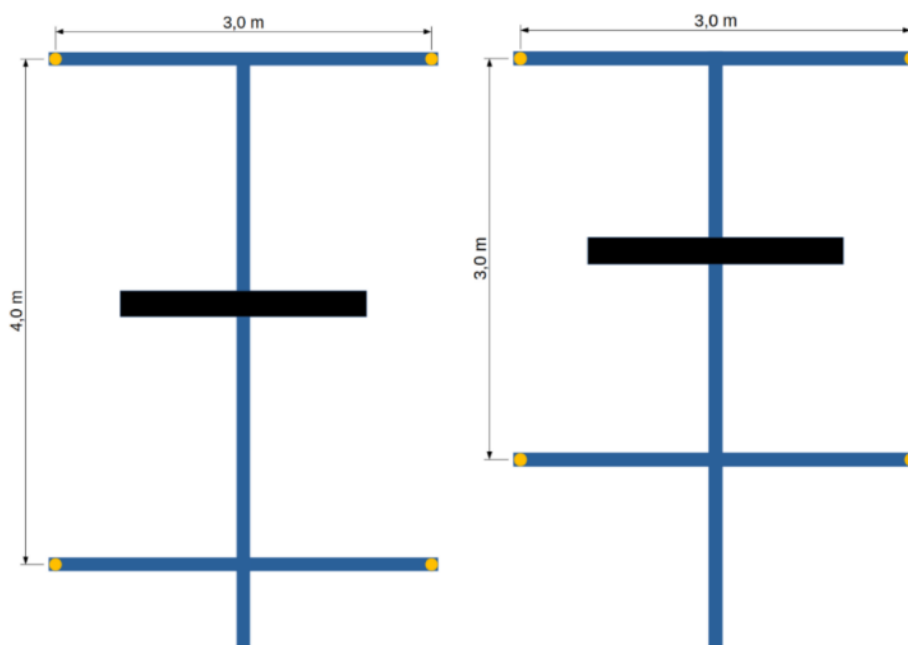
Gevarenklasse	Sproeidichtheid [mm/min]	Sproeioppervlak nat [m ²]
HC-1	4	140
HC-2	8	230
HC-3	12	230

Er is voor alle experimenten gekozen voor een sprinklernet met vier koppen, zodat de volledige stalling tijdens het experiment wordt afgedekt. De te gebruiken sprinklerkoppen voor gevarenklasse HC-1 en HC-2 zijn van het type Rapidrop RD022 SSR (K80) met een rood glaasje (68 °C). De gebruikte sprinklerkoppen voor gevarenklasse HC-3 zijn van het type Viking VK120 (K115) met een rood glaasje (68 °C). De afstand tussen twee sprinklerkoppen is in de breedte 3 m. Voor de gevarenklassen HC-1 en HC-2 is de afstand tussen twee sprinklerkoppen in de lengte 4 m en voor gevarenklasse HC-3 is de afstand in de lengte 3 m. Dit geeft het sproeioppervlak en theoretische debiet zoals genoemd in tabel 1.6. Het berekende (en tijdens de test ingeregelde) debiet is gebaseerd op vier open koppen. De druk in het sprinklersysteem is zo gedimensioneerd dat het theoretische debiet behaald wordt bij vier open koppen. Indien slechts één kop wordt aangesproken, is het daadwerkelijke debiet van deze ene kop hoger dan het theoretische debiet per kop in tabel 1.6. De gemeten daadwerkelijke debieten zijn opgenomen in de resultaten.'

Tabel 1.6 Sproeioppervlak per kop en debiet bij de verschillende gevarenklassen

Gevarenklasse	Sproeioppervlak per kop [m ²]	Debiet per kop [l/min]	Debiet per 4 koppen [l/min]
HC-1	12	48	192
HC-2	12	96	384
HC-3	9	108	432

Het sprinklernet is gecentreerd boven de testobjecten. De afstand van de sprinklerkoppen tot het plafond van de testruimte is ongeveer 200 mm. Omdat de fietsen nagenoeg tegen het plafond aan stonden, is bij de experimenten met fietsen niet voldaan aan de eisen voor obstructies of vrije afstand onder een sprinklerkop uit de FM-voorschriften. In figuur 1.2 is het sprinklernet schematisch weergegeven.



Figuur 1.2 Schematische weergave sprinklernet voor gevarenklasse HC-1 en HC-2 (links) en HC-3 (rechts)

Voor de watertoevoer van de sprinkler is gebruikgemaakt van een hydrant op de testlocatie. De druk op deze hydrant is ongeveer 5 bar. Door middel van een verdeelstuk met draai-afsluiter werd het debiet op de vier koppen geregeld. Voorafgaand aan de experimenten is bepaald in welke stand de draai-afsluiter moest staan. De afsluiter werd geborgd in deze stand tijdens de experimenten. Daarnaast werden de geleverde druk en het debiet gemeten tussen de draai-afsluiter en de toevoerleiding naar de sprinklerkoppen. En verder is voorafgaand aan de experimenten een hydraulische berekening uitgevoerd om het drukverlies in de leidingen te bepalen. Dit is gedaan om te zorgen dat de minimale druk op een sprinklerkop minimaal 0,5 bar zou zijn, zoals vereist volgens de opgave van de leverancier van de sprinklerkop en de FM-voorschriften.

1.1.5 Stallingssituaties

Drie verschillende stallingssituaties zijn gebruikt tijdens de experimenten:

1. fietsen in een fietsparkeersysteem.
2. fatbikes die op de vloer gestald worden.
3. scooters die op de vloer gestald worden.

Fietsen in een fietsparkeersysteem

Voor de experimenten met de fietsen is gebruikgemaakt van een dubbelzijdig fietsparkeersysteem met twee stallingshoogtes volgens de standaard van ProRail. Het systeem is 2,34 m lang en 2,9 m breed met een hart op hart afstand tussen de fietsen van 37,5 cm. Onderin en bovenin kunnen 14 fietsen per zijde staan, met in totaal 28 fietsen per experiment. Zie figuur 1.3 voor de opstelling van het fietsparkeersysteem. In de bovenste

stallingslaag zit per plek een gasveer die ervoor zorgt dat er minder kracht nodig is om de fiets daar te plaatsen.



Figuur 1.3 Opstelling fietsen in een fietsparkeersysteem

Bij het maken van de keuzes voor de experimentele opstelling is niet alleen gekeken naar de huidige situatie, maar is ook rekening gehouden met de representativiteit voor toekomstige stallingssituaties. Op dit moment worden elektrische fietsen vanwege het zwaardere gewicht bijvoorbeeld meestal in de onderste stallingslaag geplaatst, maar met een toename van het aandeel elektrische fietsen in een stalling zal dat mogelijk veranderen. Op basis van de verwachte verschillen in stallingssituaties is gekozen voor twee opstellingen met (elektrische) fietsen:

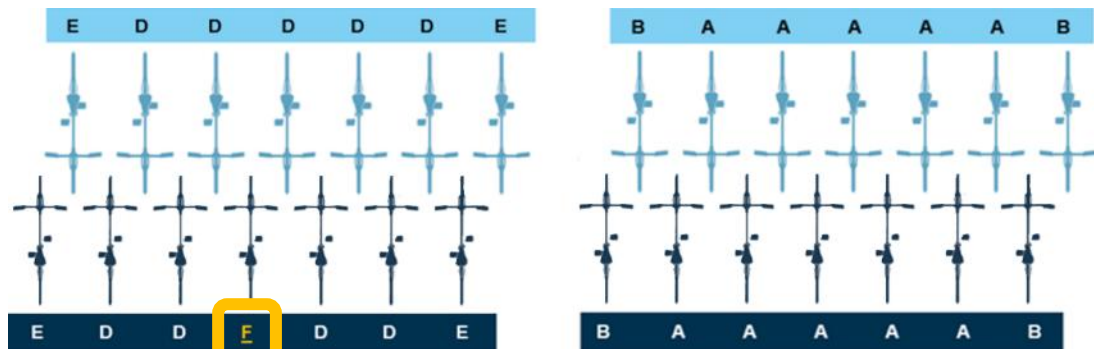
1. Opstelling met 50 % elektrische fietsen.
2. Opstelling met 100 % elektrische fietsen.

De verschillende opstellingen zijn gekozen omdat een verschil in de snelheid van brand-uitbreiding wordt verwacht, afhankelijk van het type fietsen die gestald zijn. Op basis van de resultaten uit fase 1 van het onderzoek wordt bijvoorbeeld verwacht dat een brand in een stalling waarin alleen elektrische fietsen staan zich sneller zal uitbreiden dan wanneer er enkel niet-elektrische fietsen staan (Wolfs & Van Liempd, 2025). En wanneer er veel fietsen met accessoires staan, zal de brand zich naar verwachting sneller uitbreiden dan wanneer er enkel fietsen staan zonder accessoires.

De snelheid van branduitbreiding kan van invloed zijn op de benodigde maatregelen in een stalling. Bij een relatief beperkte uitbreidingssnelheid heeft een offensieve binneninzet van de brandweer mogelijk een hoge slagingskans, maar bij een snelle branduitbreiding zal een offensieve binneninzet niet meer mogelijk zijn. In dat geval moeten aanvullende maatregelen genomen worden wanneer de wens bestaat om de brand beperkt in omvang te houden (bijvoorbeeld om de tijd dat de stalling buiten gebruik is te beperken). Door verschillende opstellingen te bekijken, wordt inzicht verkregen in de snelheid van branduitbreiding in verschillende situaties.

Opstelling met 50 % elektrische fietsen

In totaal stonden er 28 fietsen in het fietsparkeersysteem, waarvan 14 elektrische in de onderste stallingslaag. De brand is in deze stallingslaag ontstoken bij een fiets met kinderzitje (type F), in figuur 1.4 aangegeven met de oranje letter F. De buitenste fietsen in de stalling waren fietsen met een fietstas (type E). De overige fietsen hadden geen accessoires (type D). In de bovenste stallingslaag stonden 14 niet-elektrische fietsen. De buitenste fietsen in de stalling waren fietsen met een fietstas (type B). De overige fietsen hadden geen accessoires (type A). Zie figuur 1.4 voor de plaats van het type fietsen in het fietsparkeersysteem tijdens het experiment.



Figuur 1.4 Opstelling met 50 % elektrische fietsen onderste stallingslaag (links) en bovenste stallingslaag (rechts)

Alle plaatsen in de stalling waren bezet. De brand werd ontstoken bij een elektrische fiets met kinderzitje. Bij dit type fiets zijn in de experimenten in fase 1 het hoogste piekbrandvermogen (807 kW) en de snelste tijd voor branduitbreiding naar een andere fiets gemeten (ongeveer 2,5 minuut naar een bovengelegen fiets en zo'n 8 minuten naar een naastgelegen fiets) (Wolfs & Van Liempd, 2025). Voor wat betreft de start van de brand geldt dit dus als worst-case situatie. Deze opstelling heeft ten opzichte van veel praktijksituaties naar verwachting een snellere of minstens even snelle branduitbreiding. Praktijksituaties waarbij een nog snellere branduitbreiding te verwachten is, zijn bijvoorbeeld:

- > Elektrische fietsen in de bovenste stallingslaag, omdat deze meer energie afgeven bij een brand dan niet-elektrische fietsen.
- > Meer accessoires op de fietsen, omdat de accessoires zorgen voor extra energieafgifte bij een brand.

Praktijksituaties waarbij een tragere branduitbreiding te verwachten is, zijn bijvoorbeeld:

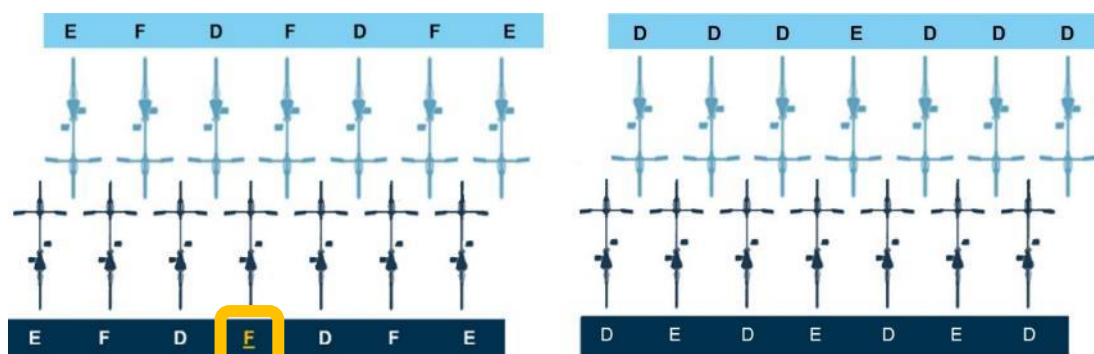
- > Lege plekken in de stalling, omdat de brand zich hierdoor over een grotere afstand moet uitbreiden. Dit kan zorgen voor een tragere branduitbreiding, of zelfs helemaal geen uitbreiding.
- > Minder accessoires op de fietsen, omdat deze minder energie afgeven bij een brand.
- > Meer niet-elektrische fietsen onder in de stalling, omdat deze minder energie afgeven bij een brand dan elektrische fietsen.

Met deze opstelling is één experiment uitgevoerd zonder sprinklerinstallatie.

Opstelling met 100 % elektrische fietsen

Alle 28 fietsen in het fietsparkeersysteem waren elektrisch; 8 daarvan hadden een kinderzitje (type F), 8 een fietstas (type E) en 12 geen accessoires (type D). Zie figuur 1.5 voor de plaats van het type fietsen in het fietsparkeersysteem tijdens het experiment. De fiets die

werd ontstoken, was de elektrische fiets type F in de onderste stallingslaag, in figuur 1.5 aangegeven met de oranje letter F.



Figuur 1.5 Opstelling met 100 % elektrische fietsen onderste stallingslaag (links) en bovenste stallingslaag (rechts)

Deze opstelling heeft naar verwachting ten opzichte van eigenlijk alle praktijksituaties een snellere of minstens even snelle branduitbreiding. Enkel een toename van bijvoorbeeld de grootte van de accucapaciteit, of extra fietsen die tussen stalplaatsen 'gepropt' zijn, zouden eventueel een nog snellere branduitbreiding kunnen geven.

Met deze opstelling is één experimenten uitgevoerd, namelijk met een sprinklerinstallatie voor gevarenklasse HC-3.

Fatbikes die op de vloer gestald worden

De opstelling bestond uit tien fatbikes in één rij naast elkaar opgesteld, met een vrije tussenruimte van 50 cm, gemeten vanaf de zijkant van de ene fatbike naar de zijkant van de naastgelegen fatbike. Deze onderlinge afstand is bepaald op basis van een meting in de stallingen van ProRail door een medewerker van ProRail. De opstelling van de fatbikes is weergegeven in figuur 1.6.



Figuur 1.6 Opstelling fatbikes gestald op de vloer

Er is gekozen voor een opstelling die naar verwachting nagenoeg alle huidige stalling-situaties representeert voor wat betreft de verwachte snelheid van branduitbreiding. Zo is

een type fatbike geselecteerd met twee accu's, een zadel en buddyseat met kunststof schuimvulling en brede banden. Deze fatbike behoort waarschijnlijk tot de hoogste categorie voor wat betreft de verwachte snelheid van branduitbreiding onder de huidige marktmodellen.

Met deze opstelling zijn meerdere experimenten uitgevoerd. Het eerste is een experiment met sprinklers voor gevarenklasse HC-3. De brand werd bij dit experiment voldoende beheerst door de sprinkler, waarna een experiment is uitgevoerd met sprinklers voor gevarenklasse HC-2. Deze opstelling is ook getest zonder sprinklers. De vijfde fatbike, gezien vanaf de deur, werd ontstoken.

Scooters die op de vloer gestald worden

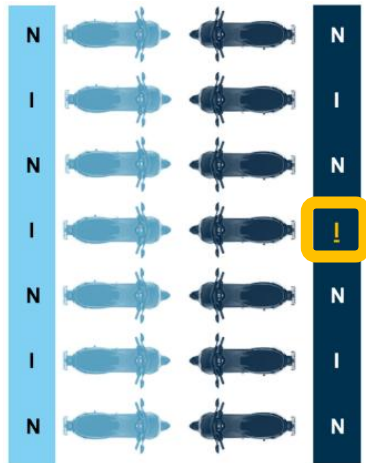
Scooters worden slechts incidenteel in inpandige stallingen van ProRail geplaatst. Uit de eerdere brandexperimenten met fietsen en scooters (fase 1) is bekend dat scooters dermate snel branden dat een offensieve binneninzet door de brandweer geen hoge slagingskans zal hebben wanneer meerdere scooters naast elkaar gestald staan. Voor de incidentele gevallen dat er scooters in inpandige stallingen staan, wil ProRail daarom getest hebben of een sprinklerinstallatie een brand in een vroegtijdig stadium kan beheersen. Op verzoek van ProRail is één experiment met een sprinklerinstallatie voor gevarenklasse HC-3 uitgevoerd.

De scooters zijn opgesteld op de vloer in een stallingsituatie die overeenkomt met een inpandige stalling van ProRail. De opstelling bestond uit een dubbele rij met 7 scooters per rij met de voorzijdes vrijwel tegen elkaar aan, zie figuur 1.7. De onderlinge afstand was 60 cm gemeten vanaf de zijkant van de buddyseat. Deze onderlinge afstand is bepaald op basis van een meting in de stallingen van ProRail door een medewerker van ProRail.



Figuur 1.7 Opstelling scooters gestald op de vloer

In totaal stonden er 14 scooters, waarvan 8 elektrische scooters (type N) en 6 benzinescooters (type I). In figuur 1.8 is de plaats van het type scooters in de opstelling opgenomen. De scooter die werd ontstoken, was de benzinescooter type I in het midden van de rij aan de rechterzijde, in figuur 1.8 aangegeven met de oranje letter I.



Figuur 1.8 Opstelling scooters

1.1.6 Ontstekingsbron

Bij deze experimenten is dezelfde ontstekingsbron gebruikt als bij het eerdere onderzoek (fase 1) naar het brandverloop en brandgedrag van (elektrische) fietsen en (elektrische) scooters (Wolfs & Van Liempd, 2025). De ontstekingsbron was een stapeling van op elkaar gespiegelde MDF-platen met een totale afmeting van 60 mm × 60 mm × 45 mm. Deze platen werden gedrenkt in 80 ml heptaan, zijn in een plastic zakje gedaan en op de juiste positie geplaatst. Bij aanvang van het experiment werden ze ontstoken met een brander.

Bij de fietsen is één ontstekingsbron geplaatst tussen het achterspatbord en de accu, en bij de benzinescooter bij het voorwiel (de benzinetank bevindt zich boven het voorwiel). Bij de experimenten met de fatbikes zijn twee ontstekingsbronnen geplaatst, nabij elke accu een. De exacte posities van de ontstekingsbron per testobject zijn weergegeven in bijlage 2.

1.1.7 Meetopstelling en meetprotocol

In tabel 1.7 is opgenomen welke grootheden zijn gemeten met welke apparatuur en op welke locaties.

Tabel 1.7 Meetwaarden en meetapparatuur

Grootheid [eenheid]	Meetapparatuur	Locaties
Beeld	Camera's	Zes locaties: > Link schuin voor > Links zijkant > Links schuin achter > Rechts schuin achter > Rechts zijkant > Rechts schuin voor
Straling [kW/m ²]	Hukseflux SBG01 Meetbereik 0 – 50 kW/m ² .	Vier locaties. De stralingsmeters staan aan alle vier de zijden in het midden van elke zijde op 2,15 m vanaf de buitenrand van de stalling. Op deze afstand zou in een echte stallingsituatie een andere rij objecten kunnen staan.

Bij de experimenten met de fietsen op 1,38 m hoogte en bij de experimenten met de fatbikes en de scooters op 0,80 m hoogte. Deze hoogtes zijn gekozen, omdat hier ongeveer het midden van de hoogte van de vlammen te verwachten is, en hier naar verwachting de hoogste warmtestraling gemeten wordt.

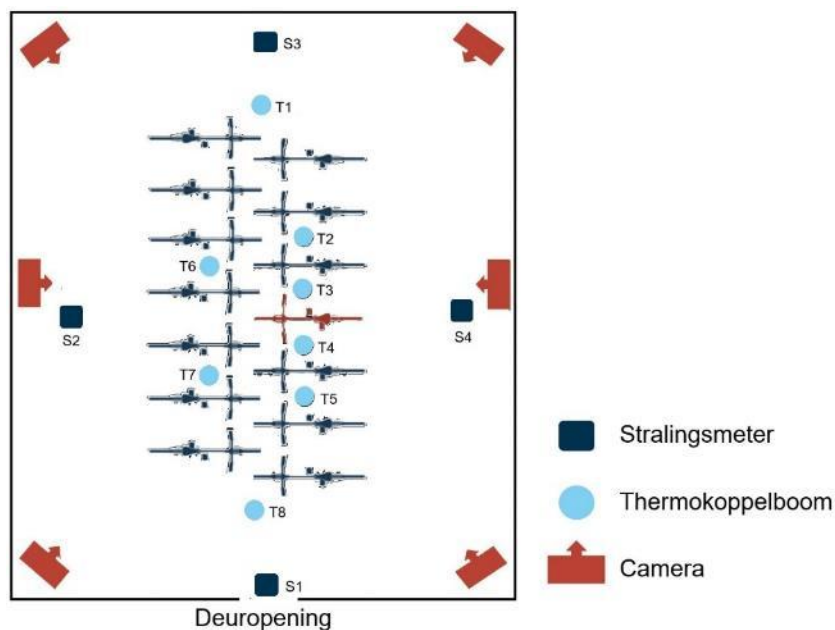
Temperatuur [°C]	Thermokoppel type K Meetbereik tot 1.200 °C Meetonzekerheid tot 1.000 °C ± 1,5 °C of 0,004*t, Meetonzekerheid tot 1.200 °C ± 2,5 °C of 0,0075*t	Op acht locaties een thermokoppelboom met thermokoppels op de volgende vijf hoogtes: > 0,8 m > 1,5 m > 2 m > 2,55 m (0,2 m onder het plafond) > 2,75 m (onderzijde van het plafond).
------------------	--	---

Druk sprinkler [bar]	Drukmeter	Na verdeelstuk
----------------------	-----------	----------------

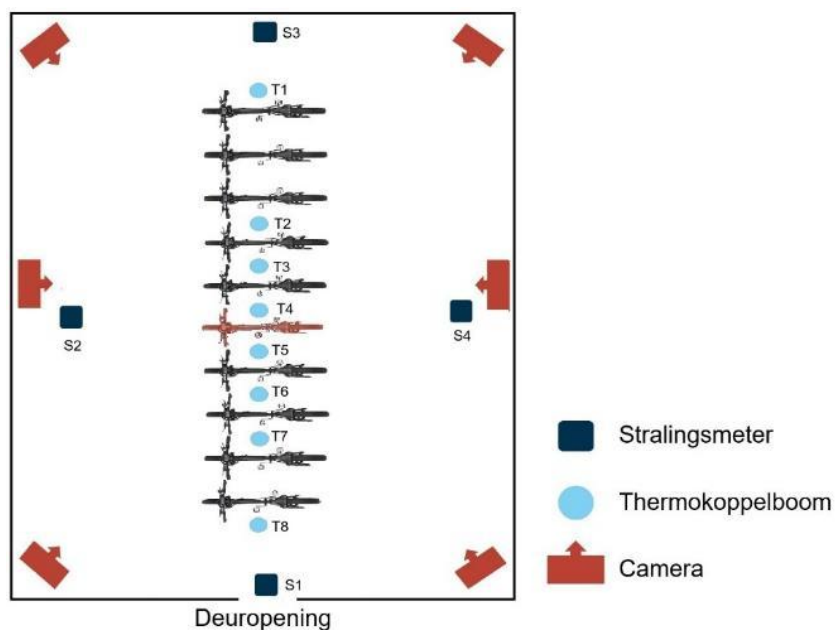
Debiet sprinkler [l/min]	Debietmeter	Na verdeelstuk
--------------------------	-------------	----------------

Voor het vastleggen van de data van de thermokoppels en de stralingsmeters is gebruikgemaakt van een datalogger van het type Agilent 34972A. De metingen zijn uitgevoerd met een frequentie van eens per twee seconden. De druk en het debiet van de sprinklerinstallatie werden gemeten met een frequentie van één meting per tien seconden.

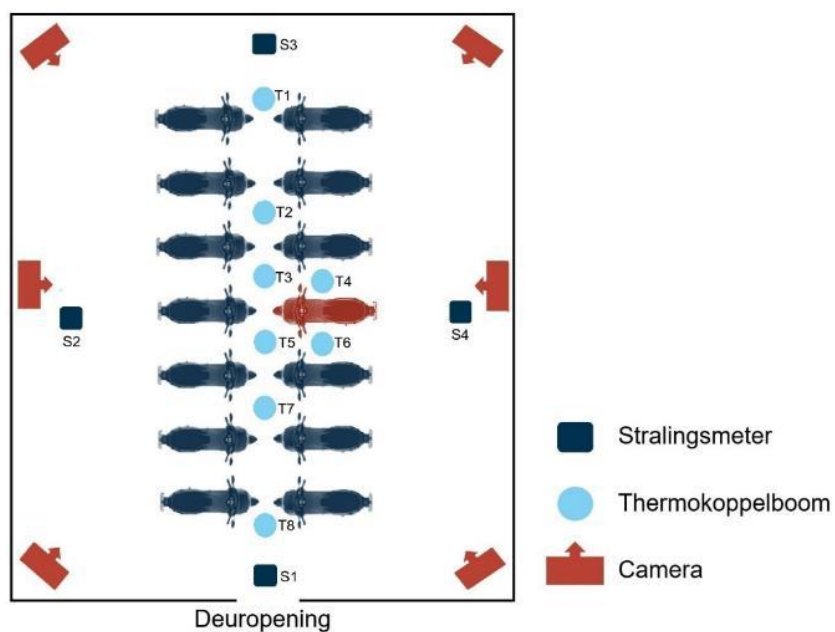
In figuur 1.9 is de opstelling van de meetapparatuur van de experimenten met fietsen weergegeven, in figuur 1.10 de meetopstelling van de experimenten met fatbikes en in figuur 1.11 de meetopstelling van het experiment met scooters.



Figuur 1.9 Meetopstelling experimenten met fietsen (bij de rode fiets is de brand ontstoken)



Figuur 1.10 Meetopstelling experimenten met fatbikes (bij rode fatbike is de brand ontstoken)



Figuur 1.11 Meetopstelling experiment met scooters (bij rode scooter is de brand ontstoken)

1.1.8 Experimentprotocol

Voorafgaand aan de experimenten is de lucht uit de banden gelaten. Het bezwijken van banden die op druk staan zou namelijk tot lokale effecten kunnen leiden wat gevolgen kan hebben voor de integriteit van de meetapparatuur. Door het brandlab is op basis van eerdere experimenten aangegeven dat het leeglaten van de banden geen invloed heeft op het brandverloop.

Nadat de voorbereiding was afgerond, startte het experiment door het ontsteken van de ontstekingsbron met een brander. Het einde van het experiment werd bepaald door het moment dat er geen of vrijwel geen zichtbare vlammen meer waren. Na afloop van ieder experiment werden de beschadigde testobjecten vervangen voor nieuwe exemplaren. Voorafgaand aan elk experiment was ervoor gezorgd dat de ruimte en de aanwezige materialen daarin droog waren, om invloed van aanwezig water op het brandverloop uit te kunnen sluiten.

1.1.9 Overzicht geplande en uitgevoerde experimenten

In deze paragraaf staat vermeld welke experimenten gepland en daadwerkelijk uitgevoerd zijn. Waarom niet alle geplande experimenten uitgevoerd zijn, is toegelicht. In tabel 1.8 staat een overzicht van de experimenten die gepland waren en de reden waarom.

Tabel 1.8 Geplande experimenten met de redenen om ze uit te voeren

Geplande experimenten	Reden om het experiment uit te voeren
50 % elektrische fietsen zonder sprinkler	Inzicht verkrijgen in de snelheid van branduitbreiding bij een stallingssituatie met 50 % elektrische fietsen.
100 % elektrische fietsen zonder sprinkler	Inzicht verkrijgen in de snelheid van branduitbreiding bij een stallingssituatie met 100 % elektrische fietsen. Er worden verschillende stallingssituaties getest die naar verwachting een andere snelheid van branduitbreiding kennen. Op basis hiervan kan in een latere fase een inschatting gemaakt worden van de slagingskans van een offensieve binneninzet van de brandweer. Dit kan input zijn om in fase 3 van het onderzoek een risicoafweging te maken welke maatregelen genomen kunnen worden bij welke stalling.
100 % elektrische fietsen met HC-2 sprinkler	Bepalen of een sprinkler een brand in een vroegtijdig stadium kan beheersen.
100 % elektrische fietsen met HC-1 sprinkler	Er zijn geen voorschriften in sprinklernormen voor een dergelijke stallingsituatie. Daarom wordt bij een succesvol experiment met gevaar Klasse HC-2 ook getest met HC-1. Op die manier wordt bepaald wat de kleinste sproeidichtheid is waarbij de sprinkler een brand in een vroegtijdig stadium kan beheersen.
Fatbikes zonder sprinkler	Inzicht verkrijgen in de snelheid van branduitbreiding zonder aanwezigheid van een sprinklerinstallatie.
Fatbikes met HC-3 sprinkler	Bepalen of een sprinkler een brand in een vroegtijdig stadium kan beheersen.
Fatbikes met HC-2 sprinkler	Er zijn geen voorschriften in sprinklernormen voor een dergelijke stallingsituatie. Daarom wordt bij een succesvol experiment met gevaar Klasse HC-3 ook getest met HC-2. Op die manier wordt bepaald wat de kleinste sproeidichtheid is waarbij de sprinkler een brand in een vroegtijdig stadium kan beheersen.
Scooters met HC-3 sprinkler	Bepalen of een sprinkler een brand in een vroegtijdig stadium kan beheersen.

Afwijkingen in het verloop van de experimentenserie

De experimenten met fatbikes en scooters zijn volgens plan uitgevoerd. Bij de experimenten met fietsen zijn op verzoek van ProRail gedurende de uitvoering van de experimenten aanpassingen gedaan in de serie experimenten. Het experiment met 50 % elektrische fietsen zonder sprinkler kende een dermate snel brandverloop dat het experiment met 100 % elektrische fietsen zonder sprinkler niet meer zinvol werd geacht. Bij het experiment met 50 % elektrische fietsen zonder sprinkler zou een offensieve inzet van de brandweer geen hoge slagingskansen hebben. Wanneer ProRail wenst om een dergelijke brand in een vroegtijdig stadium te blussen, zijn dus aanvullende maatregelen nodig. Het experiment met 100 % elektrische fietsen zonder sprinkler is daarom vervangen door een experiment met een lichtere configuratie fietsen (voor wat betreft de verwachte snelheid qua branduitbreiding). Vanwege het snelle brandverloop is verder de gevarenklasse van de sprinkler aangepast van HC-2 en HC-1 naar HC-3 en HC-2. Dit is gedaan, omdat de beheersing van de brand naar verwachting een hogere sproeidichtheid vraagt.

Vanwege omstandigheden is het experiment met 100 % elektrische fietsen en het experiment met 100 % elektrische fietsen met HC-2 sprinkler niet uitgevoerd. De experimenten die wel zijn uitgevoerd, staan weergegeven in tabel 1.9.

Tabel 1.9 Overzicht uitgevoerde experimenten

Uitgevoerde experimenten
50 % elektrische fietsen zonder sprinkler
100 % elektrische fietsen met HC-3 sprinkler
Fatbikes zonder sprinkler
Fatbikes met HC-3 sprinkler
Fatbikes met HC-2 sprinkler
Scooters met HC-3 sprinkler

1.2 Datapreparatie

De datapreparatie van de meetopnemers voor temperatuur en warmtestraling is uitgevoerd door het brandlab, dat gebruik heeft gemaakt van eigen software (PIMS). Hierbij is het analoge signaal dat uit de meetapparatuur komt omgerekend naar een meetwaarde.

1.3 Analyse branduitbreiding

Branduitbreiding vindt plaats door overdracht van energie in de vorm van warmte naar een ander object. Deze energie warmt het andere object op. Als dit heet genoeg wordt, kan het gaan pyrolyseren (uitgassen). Komen er voldoende brandbare pyrolysegassen vrij, dan kan het gaan branden wanneer er voldoende ontstekingsenergie en zuurstof beschikbaar zijn.

Om de kans op branduitbreiding te kunnen bepalen, is op basis van de gemeten warmtestraling en de nabrandduur van accucellen beoordeeld of het mogelijk of aannemelijk is dat een brand zich uitbreidt naar een andere rij. 'Branduitbreiding mogelijk' geeft aan dat het theoretisch mogelijk is dat er branduitbreiding plaatsvindt, maar tegelijkertijd dat er in de praktijk vaak nog geen branduitbreiding zal plaatsvinden. Een warmtestraling van 10 kW/m² is grofweg de laagste warmtestraling waarbij materialen tot ontbranding kunnen komen (Society of Fire Protection Engineers, 2016, Deel appendix 3). Om daadwerkelijk tot ontbranding te kunnen komen, moet deze warmtestralingsintensiteit gedurende lange tijd op het andere object vallen. Twee seconden warmteoverdracht door direct vlamcontact is naar verwachting de minimale tijd die nodig is voor een fietsonderdeel om tot ontbranding te komen. Een gemeten warmtestraling van 10 kW/m² of een nabrandduur van 2 seconden door weggeschoten accucellen zijn daarom gekozen als grenswaarden voor een mogelijke branduitbreiding.

Naast 'branduitbreiding mogelijk' is er ook gekeken naar 'branduitbreiding aannemelijk'. Dit wil zeggen dat er daadwerkelijk verwacht wordt dat een brand zich uitbreidt naar een andere rij. Voor de grenswaarde 'branduitbreiding aannemelijk' is gerekend aan de verwachte ontstekings tijden voor een aantal fietsonderdelen bij verschillende warmtestralingsintensiteiten. Hierbij is bepaald welke stralingsintensiteit gedurende welke tijd naar verwachting leidt tot een uitbreiding van een brand. Ook voor direct vlamcontact vanwege een weggeschoten accucel is bepaald welke tijd dat dit directe vlamcontact duurt naar verwachting leidt tot uitbreiding van de brand naar een ander object. Op basis van deze berekeningen zijn als grenswaarden voor 'branduitbreiding aannemelijk' gekozen voor een gemiddelde warmtestralingsintensiteit van tenminste 25 kW/m² gedurende 30 seconden, een gemiddelde warmtestralingsintensiteit van tenminste 45 kW/m² gedurende 10 seconden of een nabrandduur van tenminste 10 seconden door weggeschoten accucellen.

Een overzicht van de grenswaarden is opgenomen in tabel 1.10. In dit onderzoek zijn dezelfde grenswaarden gebruikt als bij de experimenten van fase 1 (Wolfs & Van Liempd, 2025). In het verslag van dat onderzoek is een nadere onderbouwing van deze grenswaarden te vinden.

Tabel 1.10 Grenswaarden voor de analyse van de kans op branduitbreiding

Reden warmteoverdracht	Branduitbreiding mogelijk	Branduitbreiding aannemelijk
Warmtestraling op 2,15 meter afstand ¹	≥ 10 kW/m ²	Gemiddeld ≥ 25 kW/m ² gedurende 30 seconden Gemiddeld ≥ 45 kW/m ² gedurende 10 seconden
Nabrandduur weggeschoten accucellen (afstand minimaal 2,15 m)	≥ 2 seconden	≥ 10 seconden

¹ Deze afstand is gekozen, omdat dit de minimale gangpadbreedte is in de stallingen van ProRail. Wanneer er voldoende warmtestraling is of accucellen over deze afstand wegschieten en voldoende lang nabranden, kan dit zorgen voor branduitbreiding naar een andere rij.

2 Resultaten

In dit hoofdstuk komen de resultaten en analyses van de experimenten aan bod. Per experiment zijn de volgende zaken beschreven of weergegeven:

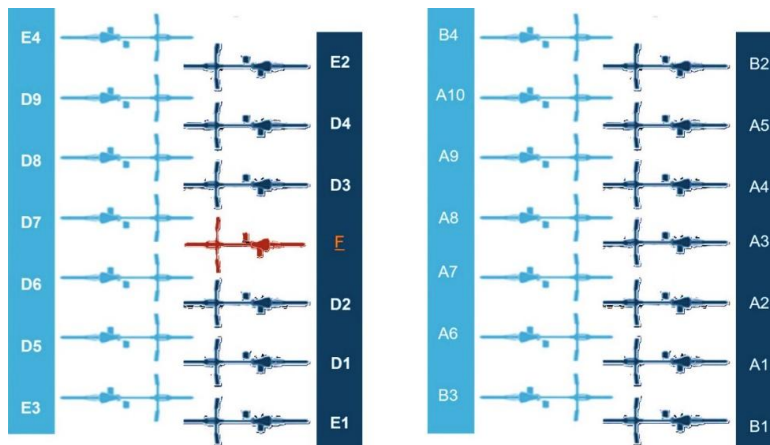
- > Brandverloop
- > Bijzonderheden bij het experiment
- > Grafieken van:
 - temperatuur
 - straling
- > Bijzondere brandfenomenen
- > Branduitbreiding naar een andere rij objecten (fietsen, fatbikes, scooters).

Alleen de resultaten die het meeste inzicht geven in het brandverloop en de kans op branduitbreiding komen hier aan de orde. In bijlage 3 zijn alle grafieken van de meetresultaten opgenomen, ook degene die niet in dit hoofdstuk zijn weergegeven.

Na de beschrijving van de resultaten is een analyse weergegeven waarin is bepaald of branduitbreiding naar een andere rij gestalde fietsen, fatbikes of scooters (voorbij het gangpad) te verwachten is. Deze analyse is uitgevoerd op basis van de grenswaarden uit paragraaf 1.3.

2.1 50 % elektrische fietsen zonder sprinkler

In deze paragraaf zijn de resultaten weergegeven van het experiment met 50 % elektrische fietsen zonder sprinkler. In deze stallingssituatie staan in de onderste laag 14 elektrische fietsen en in de bovenste laag staan 14 niet-elektrische fietsen. De acht fietsen aan de buitenzijde van de stalling zijn voorzien van een fietstas met inhoud. De ontstekingsbron wordt ontstoken bij de elektrische fiets met kinderzitje in het midden van de onderste stallingslaag. De overige fietsen hebben geen accessoires. De opstelling met de positie van de fietsen in het fietsparkeersysteem is te zien in figuur 2.1. Type A is een niet-elektrische fiets zonder accessoires, type B is een niet-elektrische fiets voorzien van een fietstas met inhoud, type D is een elektrische fiets zonder accessoires, type E is een elektrische fiets voorzien van een fietstas met inhoud en type F is een elektrische fiets met kinderzitje.



Figuur 2.1 Opstelling 50 % elektrische fietsen met de posities van de fietsen onderste stallingslaag (links) en bovenste stallingslaag (rechts)

2.1.1 Brandverloop

Na het aansteken van de ontstekingsbron brandt binnen een minuut het omhulsel van de accu die geplaatst is onder de bagagedrager. Circa 1,5 minuut na de ontsteking begint het kinderzitje van de ontstoken fiets te branden. De bovengelegen niet-elektrische fiets (A3) en de twee naastgelegen elektrische fietsen (D2 en D3) beginnen ruim 8 minuten na de ontsteking mee te branden als gevolg van warmtestraling van en contact met de vlammen van de fiets die ontstoken is. De eerste thermal runaway van de accu van de ontstoken fiets vindt plaats na 8,5 minuut. Tot het moment dat er geen beelden meer zijn (ruim 14 minuten), schieten meerdere accucellen weg en blazen meerdere accucellen af.

Een **thermal runaway** is een ongewenste exotherme reactie in het inwendige van accucellen, waarbij hitte, brandbare en toxische gassen vrijkomen. Kenmerkend voor een thermal runaway is dat het proces zichzelf in stand houdt, onder meer doordat de hitteproductie zichzelf versterkt; het is in principe niet mogelijk om de thermal runaway van een individuele accucel te stoppen.

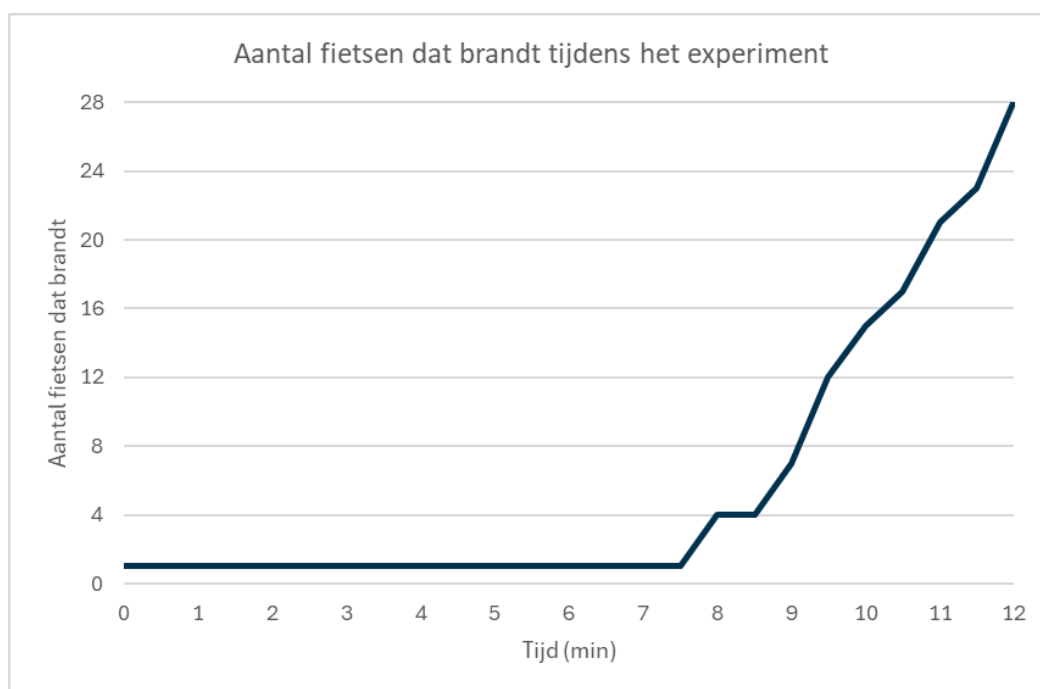
Een thermal runaway is in principe een proces dat op celniveau plaatsvindt. Het uitbreiden van een thermal runaway van een accucel naar omliggende accucellen wordt thermische propagatie genoemd. De term thermal runaway wordt echter vaak ook voor module- of pakketniveau gehanteerd. Men kan bijvoorbeeld ook zeggen dat een accupakket in thermal runaway is, als een of meerdere accucellen binnenin het betreffende pakket in thermal runaway zijn geraakt (Hessels & Brans, 2024).

Het is niet goed mogelijk om op basis van beelden exact vaststellen wanneer een accu in thermal runaway is. Dit kan namelijk het geval zijn, zonder dat er aan de buitenzijde iets van te zien is. In dit rapport wordt gesteld dat een accu in thermal runaway is wanneer er van de buitenzijde van de accu kenmerkende signalen te zien zijn. Dit kan bijvoorbeeld gaan om het afblazen van de accu, fakkels die uit de accu komen of wegschietende accucellen.

De vlammen reiken na 8,5 minuut tot aan het plafond. Na 9 minuten ontbranden ook twee bovengelegen niet-elektrische fietsen (A2 en A4). Ook elektrische fiets D1 ontbrandt. Ruim 9 minuten na de ontsteking bezwijkt een gasveer; delen daarvan schieten met grote kracht weg. Het gaat hierbij om de gasveer die zich direct boven de ontstoken fiets bevindt. Na 9,5 minuut ontbranden de overige niet-elektrische fietsen in de bovenste laag van de rechterrij (A1, A5, B1 en B2), naar de mening van de onderzoekers als gevolg van de warmtestraling van de afbuigende vlammen aan het plafond. Elektrische fiets D4 ontbrandt ook als gevolg van de warmtestraling van de vlammen van de fietsen die branden aan de onderzijde.

Ongeveer 20 seconden daarna valt van een bovengelegen niet-elektrische fiets (B2) een stuk van de brandende fietstas, dat vervolgens de fietstas van de ondergelegen elektrische fiets (E2) laat ontbranden. Iets minder dan 10 minuten na de ontsteking branden alle 14 fietsen in de rij aan de zijde van de ontstoken fiets. In twee minuten tijd heeft de brand zich uitgebreid van één fiets naar veertien fietsen.

De vlammen buigen af aan het plafond. De niet-elektrische fietsen in de tegenovergelegen bovenste rij worden door deze vlammen aangestraald. Ongeveer 10 minuten na de start van het experiment begint in die rij de eerste fiets te branden (A6). Circa 10,5 minuut na de initiële ontsteking bezwijkt een tweede gasveer. Het gaat hierbij om de gasveer die zich boven fiets D2 bevindt. Vlak daarna branden nog eens twee niet-elektrische fietsen in de tegenovergelegen bovenste rij mee (A8 en A10). Nog geen 30 seconden daarna branden alle andere niet-elektrische fietsen in de tegenovergelegen bovenste rij (A7, A9, B3 en B4). Brandende onderdelen van twee bovengelegen niet-elektrische fietsen (A6 en A10) vallen hierbij op twee elektrische fietsen in de onderste stallingslaag (D5 en D9), waarna deze fietsen ook gaan branden. 12 minuten na de start van de brand branden alle 28 fietsen in de stalling. Circa 13 minuten na de start bezwijken verschillende gasveren (locaties onbekend). Er zijn in totaal 10 van de 14 aanwezige gasveren bezweken. Het experiment is gestopt na 35 minuten. De fietsen waren op dit moment grotendeels opgebrand. Door de hevigheid van de brand en de rook die erbij vrijkwam, vielen camera's uit en raakten defect. Ook was er vanaf 14 minuten en 11 seconden tot het einde van het experiment geen beeld meer vanwege de rooklaag. In figuur 2.2 is een overzicht opgenomen van het aantal fietsen dat brandde tijdens verschillende momenten van het experiment.



Figuur 2.2 Aantal fietsen dat brandt (totdat alle fietsen zijn betrokken bij de brand)

Afbeeldingen van verschillende momenten van de brand van de opstelling met 50 % elektrische fietsen zijn opgenomen in figuur 2.3 tot en met figuur 2.7. In figuur 2.8 is een afbeelding te zien van de opstelling na het experiment. Aan de linkerzijde van de figuren is het beeld te zien van de linkerzijde van de stalling. Aan de rechterzijde is het beeld te zien

van de rechterzijde van de stalling. De brand is ontstoken aan de rechterzijde van de stalling.



Figuur 2.3 Brandontwikkeling linkerzijde stalling (links) en rechterzijde stalling (rechts) 7,5 minuut na start experiment



Figuur 2.4 Brandontwikkeling linkerzijde stalling (links) en rechterzijde stalling (rechts) 9,5 minuut na start experiment



Figuur 2.5 Brandontwikkeling linkerzijde stalling (links) en rechterzijde stalling (rechts) 10,5 minuut na start experiment



Figuur 2.6 Brandontwikkeling linkerzijde stalling (links) en rechterzijde stalling (rechts) 11,5 minuut na start experiment



Figuur 2.7 Brandontwikkeling linkerzijde stalling (links) op 12,5 minuut na start experiment (van de rechterzijde zijn geen beelden op 12,5 minuut)



Figuur 2.8 Opstelling na het experiment

Bijzonderheden bij het experiment

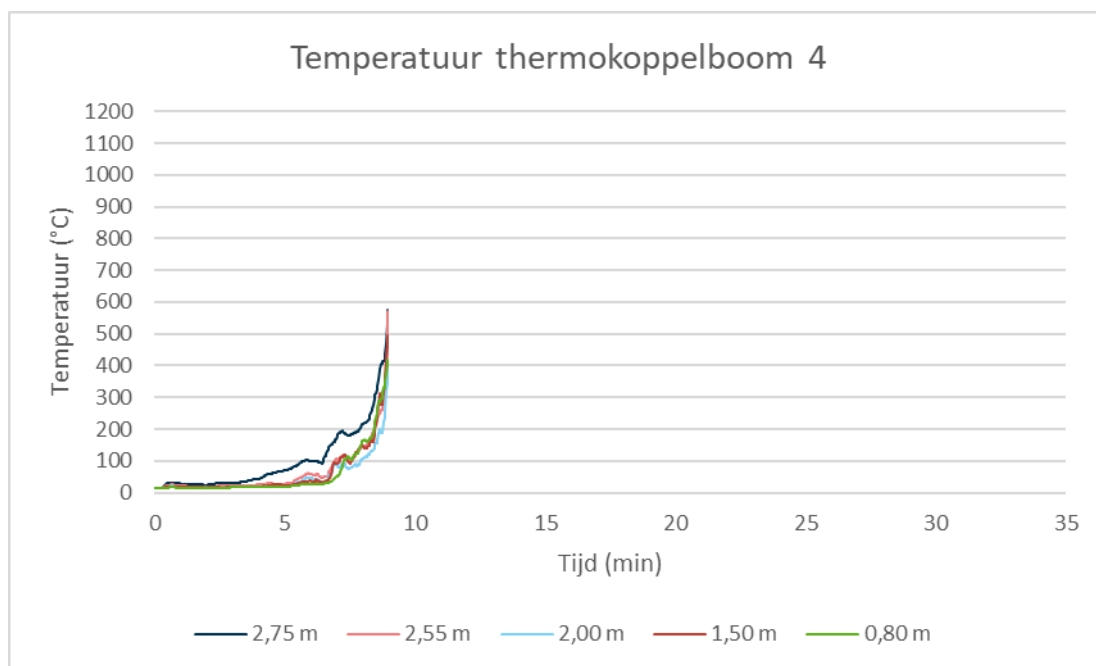
Tijdens het experiment zijn meerdere gasveren bezweken. Deze waren gevuld met stikstof, dat niet brandbaar is. Doordat ze opwarmden, nam de druk in de gasveren echter toe, waardoor een aantal is bezweken. Op de videobeelden is te zien dat (delen van) gasveren met grote kracht wegschieten.

Na het experiment zaten vrijwel alle thermokoppels niet meer op hun plek. Enkel de thermokoppels op 2,55 en 2,75 meter bij thermokoppelbomen 1 en 8 waren niet verplaatst. Op basis van videobeelden is door het brandlab bepaald dat de thermokoppels tot 9 minuten nog op hun plek zaten. Na die 9 minuten is de beeldkwaliteit onvoldoende om een uitspraak te doen over de plaats van de thermokoppels. Omdat niet duidelijk is wanneer precies de thermokoppels niet meer op de juiste plek hebben gemeten, worden de betreffende metingen na 9 minuten als onvoldoende betrouwbaar beschouwd door de onderzoekers.

Op ongeveer 15,5 minuut na de start van de brand, zijn stralingsmeters 2 (linkerzijde) en 3 (achterzijde) uitgevallen.

Temperatuur

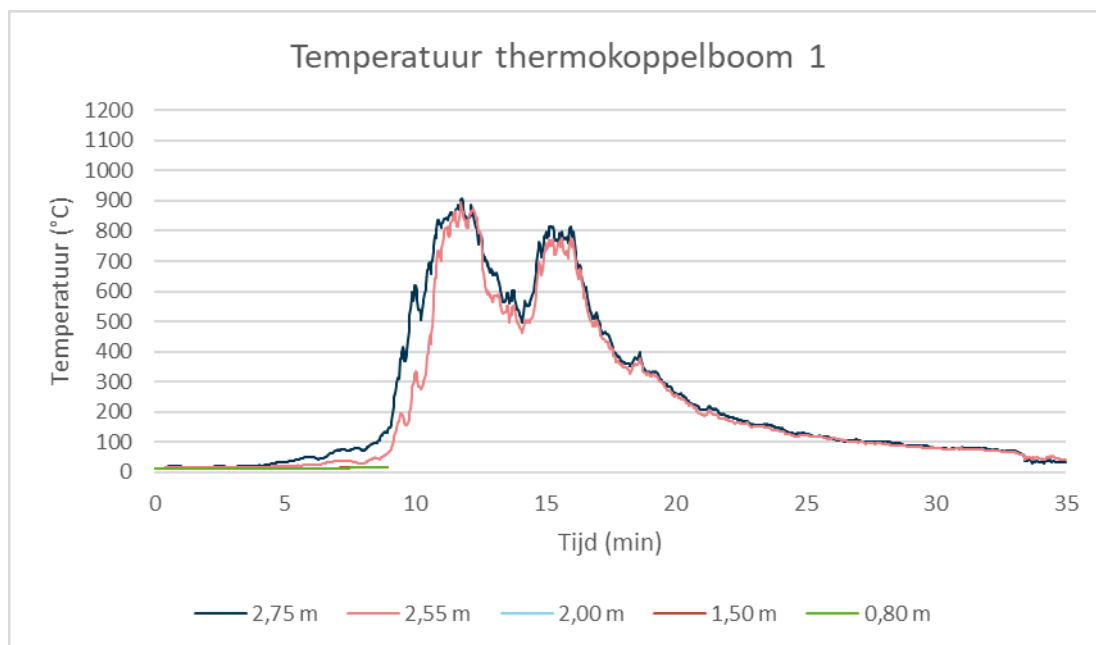
De gemeten temperatuur van twee thermokoppelbomen is weergegeven in figuur 2.9 en figuur 2.10. In figuur 2.9 staan de temperatuurmetingen van thermokoppelboom 4; deze staat direct links naast de ontstoken fiets. De hoogste gemeten temperatuur is 572 °C. Deze is gemeten op 2,55 m hoogte.



Figuur 2.9 Gemeten temperatuur fietsen 50 % elektrische fietsen (links van ontstoken fiets)²

² De meetdata na 9 minuten zijn onvoldoende betrouwbaar en om die reden weggelaten uit de grafiek.

In figuur 2.10 zijn de temperatuurmetingen opgenomen van thermokoppelboom 1. Deze stond aan de kopse kant aan de achterzijde van de ruimte naast het fietsparkeersysteem. Op 2,75 m hoogte is de hoogste temperatuur gemeten, namelijk 910 °C. Omdat de intensiteit van de brand nog toenam na 9 minuten, zijn de werkelijke temperaturen in de ruimte naar verwachting hoger geweest dan de hoogst gemeten temperatuur van 910 °C.

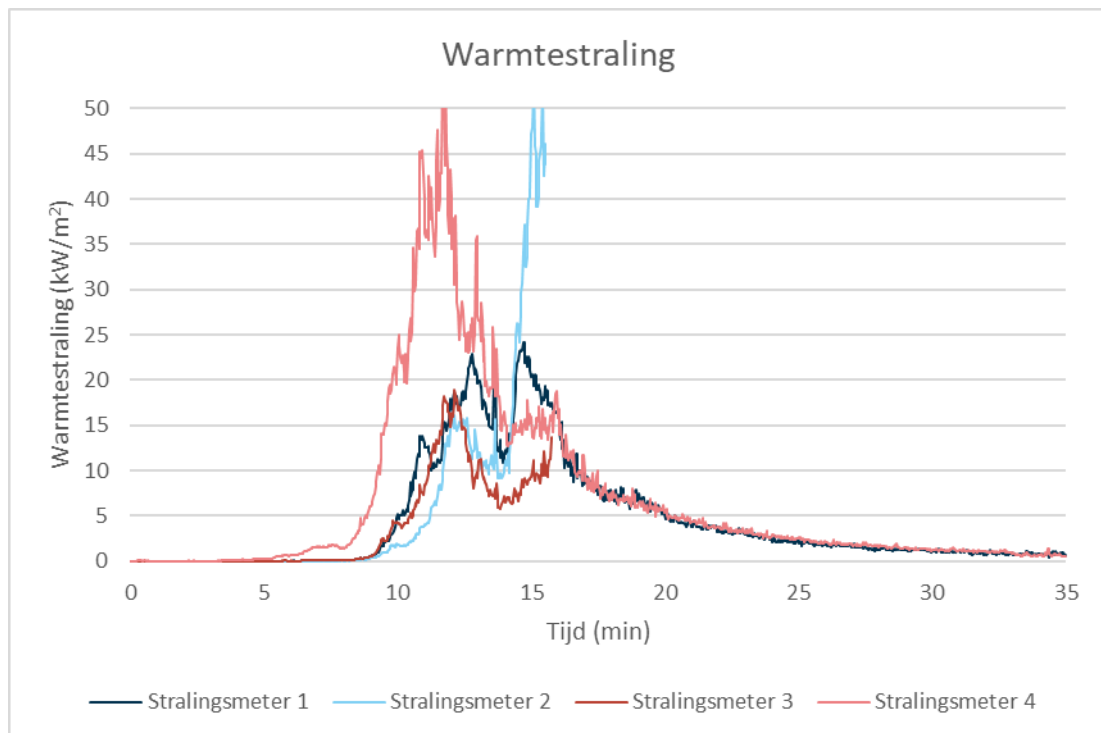


Figuur 2.10 Gemeten temperatuur fietsen 50 % elektrische fietsen (kopse kant achterzijde stalling)³

Straling

De gemeten straling is in figuur 2.11 weergegeven. De hoogst gemeten waarde tijdens het experiment is $> 50 \text{ kW/m}^2$; deze is gemeten door stalingsmeter 4 (rechterzijde), ruim 11 minuten na de start van het experiment. Ook stralingsmeter 2 (linkerzijde) heeft waarden $> 50 \text{ kW/m}^2$ gemeten. Het meetbereik van de stralingsmeters is $0 - 50 \text{ kW/m}^2$; tussen deze waarden zijn de metingen nauwkeurig. Bij hogere meetwaarden heeft de straling in ieder geval 50 kW/m^2 bereikt. Alle meetwaarden daarboven zijn niet nauwkeurig en zijn in dit rapport niet meegenomen. Bij stralingsmeters 1 en 3 is de gemeten straling $< 25 \text{ kW/m}^2$.

³ De meetdata op de hoogtes 0,8, 1,5 en 2 meter zijn na 9 minuten onvoldoende betrouwbaar en zijn om die reden weggelaten uit de grafiek.



Figuur 2.11 Gemeten straling fietsen 50 % elektrische fietsen⁴

2.1.2 Branduitbreiding

Warmtestraling

Op alle stralingsmeters zijn overschrijdingen van de grenswaarde voor 'branduitbreiding mogelijk' van 10 kW/m² waargenomen; dit is te zien in figuur 2.11. Na 9 minuten en 16 seconden is op stralingsmeter 4 (rechterzijde) de eerste overschrijding waargenomen.

Daarnaast zijn door stralingsmeters 2 (linkerzijde) en 4 overschrijdingen waargenomen van de grenswaarde van 25 kW/m² ('branduitbreiding aanneemelijk'). Tussen 10 minuten en 12 seconden en 10 minuten en 42 seconden is de eerste overschrijding van deze grenswaarde waargenomen op stralingsmeter 4.

Ook zijn overschrijdingen van de grenswaarde van 45 kW/m² waargenomen op stralingsmeters 2 en 4, maar niet gedurende 10 seconden of meer, zodat deze grenswaarde voor 'branduitbreiding aanneemelijk' niet is overschreden.

Bijzondere brandfenomenen

Op beelden is te zien dat meerdere accucellen zijn weggeschoten over een afstand van 2,15 m of meer met een nabrandduur van 10 seconden of meer. De grenswaarde voor 'branduitbreiding aanneemelijk' wordt hierdoor overschreden. Meerdere accu's hebben afgeblazen, met steekvlammen tot gevolg. Deze steekvlammen waren maximaal ongeveer 1 meter lang.

Samenvatting analyse branduitbreiding

In tabel 2.1 is het resultaat van de analyse met betrekking tot de branduitbreiding samengevat.

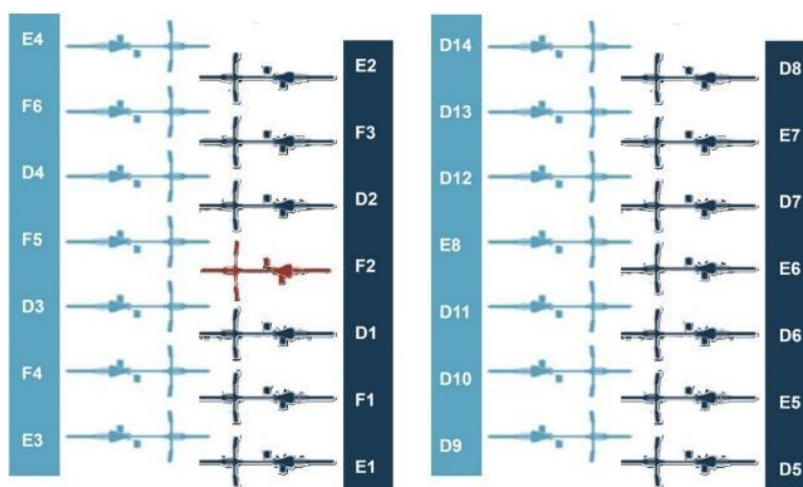
⁴ Stralingsmeters 2 en 3 waren na ongeveer 15,5 minuut defect. De meetdata van deze meters zijn weggelaten uit de grafiek.

Tabel 2.1 Branduitbreiding fietsen 50 % elektrische fietsen

Experiment	Piek warmte-straling [kW/m ²]	Afstand en nabrandduur weggeschoten accucellen	Branduitbreiding naar andere rij mogelijk	Branduitbreiding naar andere rij aannemelijk
50 % elektrische fietsen zonder sprinkler	> 50	≥ 2,15 m ≥ 10 seconden	Ja (in alle richtingen ⁵)	Ja (richting linkerzijde en rechterzijde stalling ⁶)

2.2 100 % elektrische fietsen met sprinkler gevarenklasse HC-3

In deze paragraaf zijn de resultaten weergegeven van het experiment met 100 % elektrische fietsen met HC-3 sprinkler. In deze stallingssituatie staan in de onderste en bovenste laag elektrische fietsen, in totaal 28. Vier fietsen in de onderste stallingslaag en vier fietsen in de bovenste stallingslaag zijn voorzien van een fietstas met inhoud (type E). De ontstekingsbron wordt ontstoken bij de elektrische fiets met kinderzitje (type F) in het midden van de onderste stallingslaag. Naast deze fiets staan in de onderste stallingslaag nog eens vijf fietsen met een kinderzitje. De overige fietsen hebben geen accessoires (type D). De opstelling met de positie van de fietsen in het fietsparkeersysteem is te zien in figuur 2.12.



Figuur 2.12 Opstelling 100 % elektrische fietsen met de posities van de fietsen onderste stallingslaag (links) en bovenste stallingslaag (rechts)

2.2.1 Brandverloop

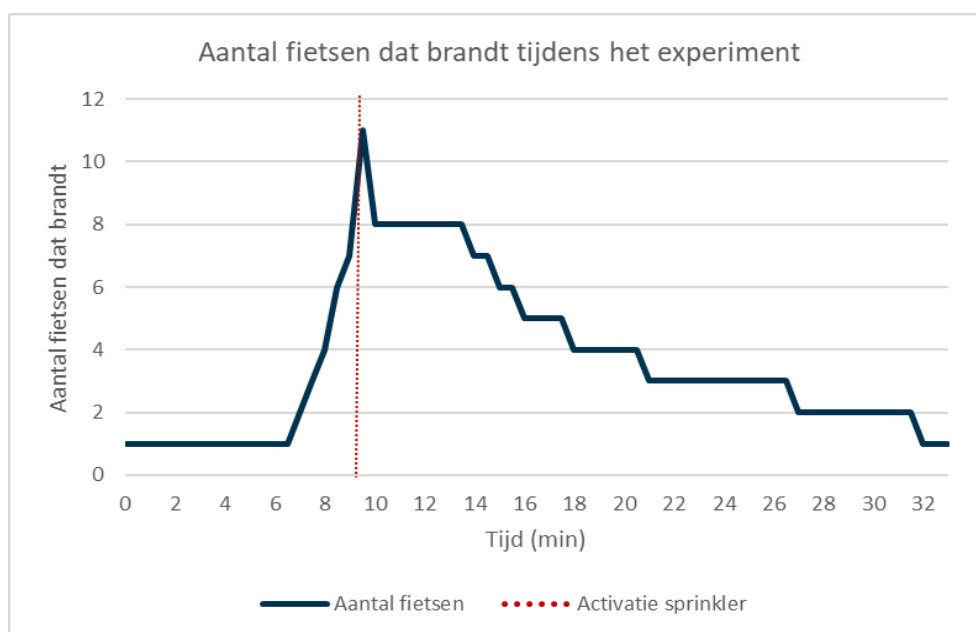
Na het aansteken van de ontstekingsbron brandt binnen een minuut het omhulsel van de accu, die geplaatst is onder de bagagedrager. Na circa 2 minuten begint het kinderzitje van de ontstoken fiets (F2) te branden. De fiets links naast de ontstoken fiets (D1) begint mee te branden op 6,5 minuut na ontsteking, doordat een deel van het brandende kinderzitje valt en bij de achterband neerkomt. Ruim 7,5 minuut na ontsteking brandt de fiets rechts naast de ontstoken fiets (D2). Enkele seconden later vindt de eerste thermal runaway plaats van de

⁵ Richting bepaald op basis van warmtestraling.

⁶ Richting bepaald op basis van warmtestraling.

accu van de ontstoken fiets. Bovengelegen fiets D6 brandt 8 minuten na ontsteking mee als gevolg van warmtestraling van en contact met de vlammen van de fiets die ontstoken is. 8,5 minuut na ontsteking branden de bovengelegen fiets (E6) en het kinderzitje van fiets F1. De vlammen reiken ruim 8,5 minuut na ontsteking tot aan het plafond. Iets meer dan 9 minuten na ontsteking ontbrandt bovengelegen fiets D7, volgens de onderzoekers vanwege de warmtestraling van de afbuigende vlammen aan het plafond. Bovengelegen fietsen D5 en E5 beginnen 9,5 minuut na ontsteking mee te branden, eveneens waarschijnlijk als gevolg van de warmtestraling van en contact met de afbuigende vlammen aan het plafond. Ongeveer 10 seconden daarna ontbranden ook de twee overige boven gestalde fietsen (D8 en E7) en staat de gehele bovenste rij in brand. Op vrijwel hetzelfde moment (9:40 minuut na ontsteking) activeert de sprinklerkop rechtsvoor in de stalling; op dat moment branden 11 fietsen. Binnen 5 seconden na activatie zijn de vlammen van fietsen D5, D8 en E7 gedoofd.

Iets minder dan 10 minuten na ontsteking bezwijkt een gasveer. Het gaat hierbij om de gasveer die zich onder fiets D6 bevindt. Nadat de sprinkler is geactiveerd, worden nog meerdere accucellen weggeschoten of blazen af. Dit gebeurt tot 16,5 minuut na de start van het experiment (circa 7 minuten na activatie van de sprinkler). Circa 12 minuten na de ontsteking (2 minuten na activatie sprinkler) vindt de eerste thermal runaway op de bovenste rij plaats bij fiets D6. Ongeveer 4 minuten na activatie van de sprinkler (14 minuten na de start van het experiment) doven de vlammen van fiets E5. Ruim een minuut later zijn de vlammen van fiets F1 gedoofd. Eveneens een minuut later zijn ook bij fiets D1 geen vlammen meer zichtbaar. Bij de andere fietsen zijn nog wel vlammen zichtbaar, maar deze worden minder. Ruim 18 minuten na de start en 8,5 minuut na activatie van de sprinkler zijn de vlammen van fiets D6 gedoofd en 3 minuten later die van fiets E6. Bijna 27 minuten na de start van het experiment zijn er geen vlammen meer zichtbaar bij fiets D7 en nog eens 5 minuten later zijn ook bij fiets D2 de vlammen gedoofd. Circa 33 minuten na de ontsteking zijn nog enkele kleine vlammetjes zichtbaar bij fiets F2 en is het experiment beëindigd. De buitenste fietsen in het fietsparkeersysteem zijn uiteindelijk niet verbrand. Dit duidt er naar mening van de onderzoekers op dat de sprinkler in staat is om branduitbreiding in een rij gestalde fietsen te voorkomen. In figuur 2.13 is een overzicht opgenomen van het aantal fietsen dat brandt tijdens het experiment.



Figuur 2.13 Aantal fietsen dat brandt

Afbeeldingen van verschillende momenten van de brand van het experiment met 100 % elektrische fietsen, zijn opgenomen in figuur 2.14 tot en met figuur 2.19. In figuur 2.20 is een afbeelding te zien van de opstelling na het experiment. Aan de linkerzijde is het beeld te zien van de linkerzijde van de stalling. Aan de rechterzijde is het beeld te zien van de rechterzijde van de stalling. De brand is ontstoken aan de rechterzijde van de stalling.



Figuur 2.14 Brandontwikkeling linkerzijde stalling (links) en rechterzijde stalling (rechts) 6,5 minuut na start experiment



Figuur 2.15 Brandontwikkeling linkerzijde stalling (links) en rechterzijde stalling (rechts) 9,5 minuut na start experiment (10 seconden voor activatie sprinkler)



Figuur 2.16 Brandontwikkeling linkerzijde stalling (links) en rechterzijde stalling (rechts) 10,5 minuut na start experiment (circa 1 minuut na activatie sprinkler)



Figuur 2.17 Brandontwikkeling linkerzijde stalling (links) en rechterzijde stalling (rechts) 14,5 minuut na start experiment (circa 5 minuten na activatie sprinkler)



Figuur 2.18 Brandontwikkeling linkerzijde stalling (links) en rechterzijde stalling (rechts) 19,5 minuut na start experiment (circa 10 minuten na activatie sprinkler)



Figuur 2.19 Brandontwikkeling linkerzijde stalling (links) en rechterzijde stalling (rechts) 29,5 minuut na start experiment (circa 20 minuten na activatie sprinkler)



Figuur 2.20 Opstelling na het experiment

Bijzonderheden bij het experiment

Tijdens het eerdere experiment met 50 % elektrische fietsen waren meerdere onderdelen van de meetopstelling defect geraakt. Niet alle onderdelen konden op korte termijn vervangen worden. Om die reden zijn tijdens dit experiment vier camera's gebruikt in plaats van zes. Verder is ervoor gekozen om de stralingsmeters niet op te stellen vanwege de verwachte brandintensiteit en omdat er anders geen vervangende stralingsmeters meer beschikbaar zouden zijn voor volgende experimenten.

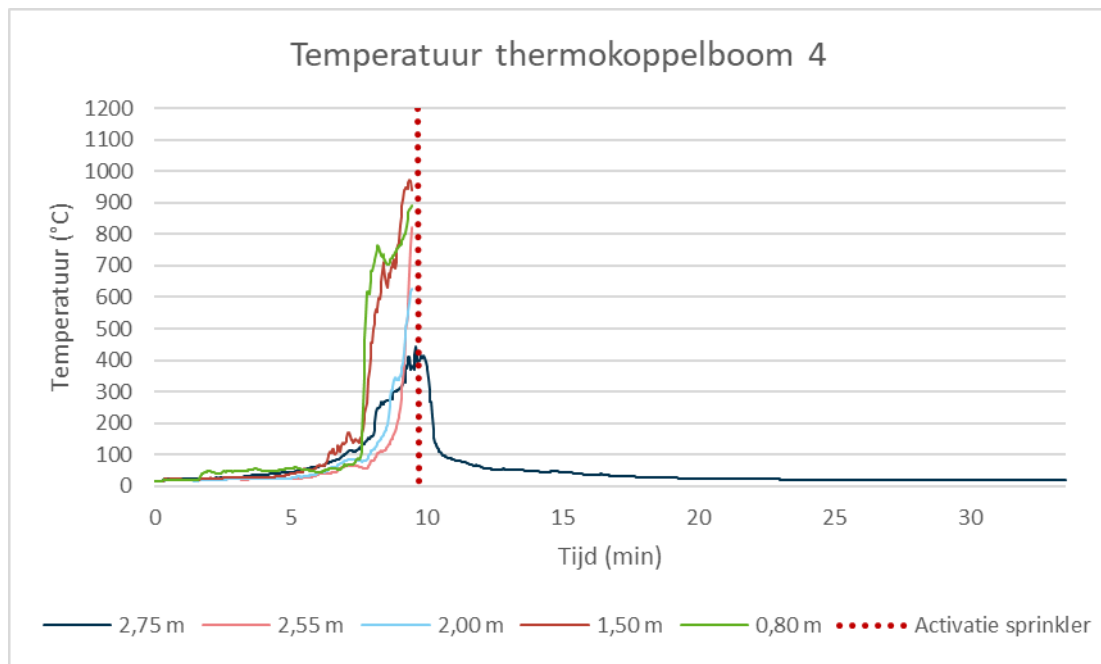
Uit voorzorg is ook de gasveer verwijderd die zich onder fiets E6 (direct boven ontstoken fiets) bevond. Tijdens het experiment is de gasveer die zich onder fiets D6 bevindt, wel bezweken.

De temperatuurmetingen van boom 1 hoogte 2,55 meter, boom 6 hoogte 1,5 meter en boom 7 hoogtes 2 en 2,55 meter zijn niet betrouwbaar gedurende het gehele experiment. De temperatuurmetingen van boom 3 hoogte 2,55 meter zijn niet betrouwbaar na 6 minuten.

Na het experiment zaten meerdere thermokoppels niet meer op hun plek. Dit betreft de thermokoppels bij boom 2 en 3 hoogtes 0,8, 1,5 en 2 meter en boom 4 en 5 hoogtes 0,8, 1,5, 2 en 2,55 meter. Op basis van videobeelden is door het brandlab bepaald dat de thermokoppels tot 9,5 minuut nog op hun plek zaten. Na 9,5 minuut is de beeldkwaliteit onvoldoende om een uitspraak te doen over de plaats van de thermokoppels. Omdat niet duidelijk is vanaf welk moment de thermokoppels niet meer op de juiste plek meten, zijn de betreffende metingen na 9,5 minuut als onvoldoende betrouwbaar beschouwd door de onderzoekers.

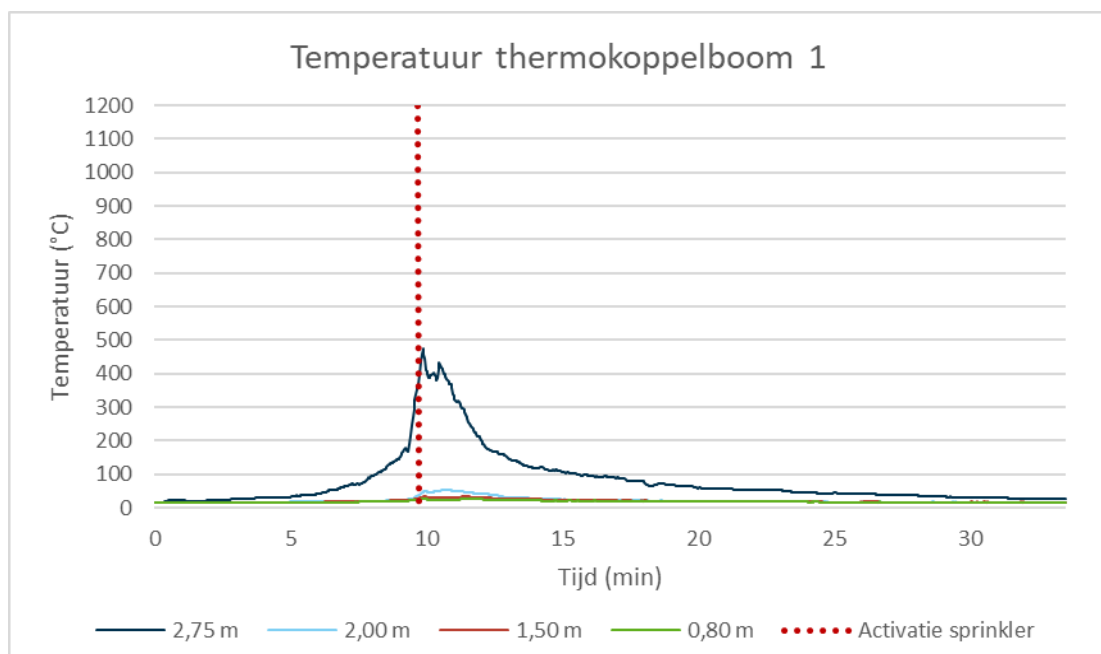
Temperatuur

De gemeten temperatuur van twee thermokoppelbomen is weergegeven in figuur 2.21 en figuur 2.22. In figuur 2.21 staan de temperatuurmetingen van thermokoppelboom 4; deze staat direct links naast de ontstoken fiets. De hoogste temperatuur is 971 °C gemeten op 2,55 m hoogte.



Figuur 2.21 Gemeten temperatuur 100 % elektrische fietsen (links van ontstoken fiets)⁷

In figuur 2.22 zijn de temperatuurmetingen opgenomen van thermokoppelboom 1; deze staat aan de kopse kant aan de achterzijde van de ruimte naast het fietsparkeersysteem. Op 2,75 m hoogte is de hoogste temperatuur gemeten, namelijk 476 °C. Op de andere thermokoppels komt de temperatuur niet boven de 60 °C. Binnen vijf minuten na activatie van de sprinkler daalt de temperatuur op vrijwel alle meetpunten tot onder de 100 °C.



Figuur 2.22 Gemeten temperatuur 100 % elektrische fietsen (kopse kant achterzijde stalling)⁸

⁷ De meetdata op de hoogtes 0,8, 1,5, 2 en 2,55 meter na 9 minuten zijn onvoldoende betrouwbaar en om die reden weggelaten uit de grafiek. De meetdata op 2,75 meter hoogte zijn gedurende de gehele test onbetrouwbaar en weggelaten uit de grafiek.

⁸ Thermokoppel op hoogte 2,55 was defect en daarom weggelaten uit de grafiek.

2.2.2 Branduitbreiding

Warmtestraling

Tijdens dit experiment is geen warmtestraling gemeten. Wel kan op basis van de gemeten warmtestraling tijdens het eerdere experiment met 50 % elektrische fietsen iets gezegd worden over de te verwachten warmtestraling tot het moment waarop de sprinkler wordt geactiveerd. De sprinkler is na 9:40 minuut geactiveerd. De maximaal gemeten warmtestraling tijdens het eerdere experiment lag op dat moment op 19 kW/m², gemeten door stralingsmeter 4. Op basis daarvan kan verwacht worden dat tijdens dit experiment de grenswaarde voor 'branduitbreiding mogelijk' (≥ 10 kW/m²) zou worden overschreden, maar niet de grenswaarde voor 'branduitbreiding aannemelijk' (≥ 25 kW/m² gedurende 30 seconden of ≥ 45 kW/m² gedurende 10 seconden).

Bijzondere brandfenomenen

Op beelden is niet waargenomen dat accucellen wegschieten. De grenswaarden voor 'branduitbreiding mogelijk' of 'branduitbreiding aannemelijk' worden hierdoor niet overschreden. Meerdere accu's hebben afgeblazen, wat steekvlammen tot gevolg had. Deze steekvlammen waren maximaal circa 1 meter lang.

Samenvatting analyse branduitbreiding

In tabel 2.2 is het resultaat van de analyse van de branduitbreiding samengevat.

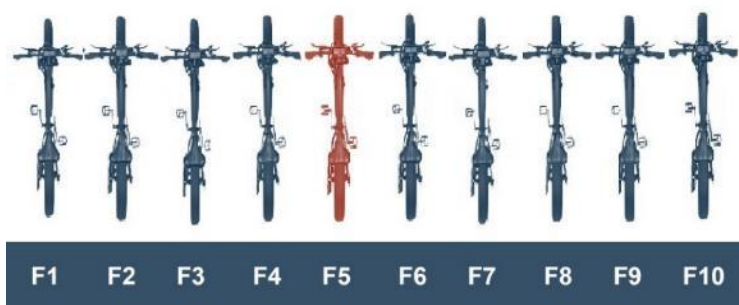
Tabel 2.2 Branduitbreiding 100 % elektrische fietsen

Experiment	Piek warmtestraling [kW/m ²]	Afstand en nabrandduur weggeschoten accucellen	Branduitbreiding naar andere rij mogelijk	Branduitbreiding naar andere rij aannemelijk
100 % elektrische fietsen met HC 3 sprinkler	n.v.t.	Niet waargenomen	Ja (richting rechterzijde stalling ⁹)	Nee

2.3 Fatbikes zonder sprinkler

In deze paragraaf zijn de resultaten weergegeven van het experiment met fatbikes zonder sprinkler. In deze stallingssituatie staan tien fatbikes naast elkaar. De ontstekingsbronnen worden ontstoken bij de vijfde fatbike gezien vanaf de deuropening, in het midden van de rij (F5). De opstelling is te zien in figuur 2.23.

⁹ Richting bepaald op basis van warmtestraling.

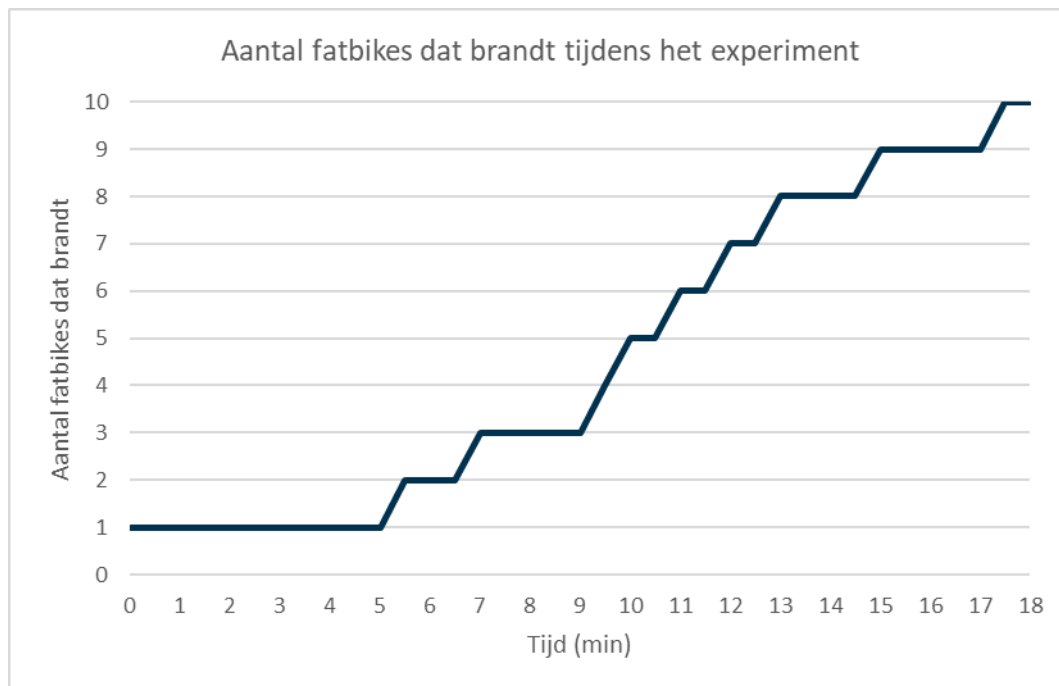


Figuur 2.23 Opstelling fatbikes met de posities van de fatbikes

2.3.1 Brandverloop

Na het aansteken van de twee ontstekingsbronnen brandt binnen een minuut het omhulsel van de twee accu's. Na een minuut brandt het zadel van de fatbike en een minuut daarna brandt ook het achterzitje. Ruim 3,5 minuut na ontsteking vindt de eerste thermal runaway plaats. Tot het moment dat er geen beelden meer zijn (ongeveer 25 minuten na ontsteking), schieten meerdere accucellen weg en blazen meerdere accucellen af. Fatbike F6 ontbrandt na bijna 5,5 minuut na de start van het experiment als gevolg van warmtestraling van de ontstoken fatbike en door contact met de vlammen door het afblazen van accucellen. Fatbike F4 ontbrandt twee minuten later op dezelfde wijze. Ongeveer 8 minuten na ontsteking valt fatbike F5 tegen F4. Bijna 9,5 minuut na ontsteking brandt fatbike F7 als gevolg van warmtestraling van en contact met de vlammen van fatbike F6. Ruim 10 minuten na de start van het experiment begint ook fatbike F3 mee te branden door contact met de vlammen van fatbike F4. Fatbike F8 ontbrandt 11 minuten na ontsteking als gevolg van warmtestraling van en contact met de vlammen van fatbike F7. Iets minder dan 12 minuten na ontsteking ontbrandt het zadel van fatbike F2 door contact met de vlammen, veroorzaakt door het afblazen van accucellen van fatbike F3. Enkele seconden later valt fatbike F7 tegen F8, die vervolgens tegen F9 valt. Ruim een halve minuut later begint fatbike F9 te branden door vlamcontact. Enkele seconden daarna valt fatbike F9 tegen F10. Ruim 15 minuten na de start van het experiment ontbrandt de voorband van fatbike F10 door warmtestraling van en contact met de vlammen van fatbike F9. Ruim 17,5 minuut na ontsteking begint het zadel van fatbike F1 te branden door vlamcontact vanwege het afblazen van accucellen van fatbike F2. Op dit moment branden alle tien de fatbikes gelijktijdig. Door de vrijgekomen hitte vallen de camera's uit. Hierdoor zijn vanaf 24:50 minuut tot het einde van het experiment geen beelden. Op het moment dat de camera's uitvallen, branden alle fatbikes nog steeds. Het experiment is na 65 minuten beëindigd. De fatbikes zijn dan grotendeels opgebrand.

In figuur 2.24 is een overzicht opgenomen van het aantal fatbikes dat brandt tijdens het experiment. Uiteindelijk zijn van alle fatbikes beide accu's uitgebrand, behalve die van F1: van die fatbike is alleen de accu onder het zadel uitgebrand.



Figuur 2.24 Aantal fatbikes dat brandt (totdat alle fatbikes zijn betrokken bij de brand)

Afbeeldingen van verschillende momenten van de brand van de opstelling met fatbikes zijn opgenomen in figuur 2.25 tot en met figuur 2.29. In figuur 2.30 is een afbeelding te zien van de opstelling na het experiment.



Figuur 2.25 Brandontwikkeling fatbikes 5 minuten na start experiment



Figuur 2.26 Brandontwikkeling fatbikes 7,5 minuut na start experiment



Figuur 2.27 Brandontwikkeling fatbikes 10 minuten na start experiment



Figuur 2.28 Brandontwikkeling fatbikes 12,5 minuut na start experiment



Figuur 2.29 Brandontwikkeling fatbikes 24,5 minuut na start experiment (vanuit stalling rechts voor)



Figuur 2.30 Opstelling na het experiment

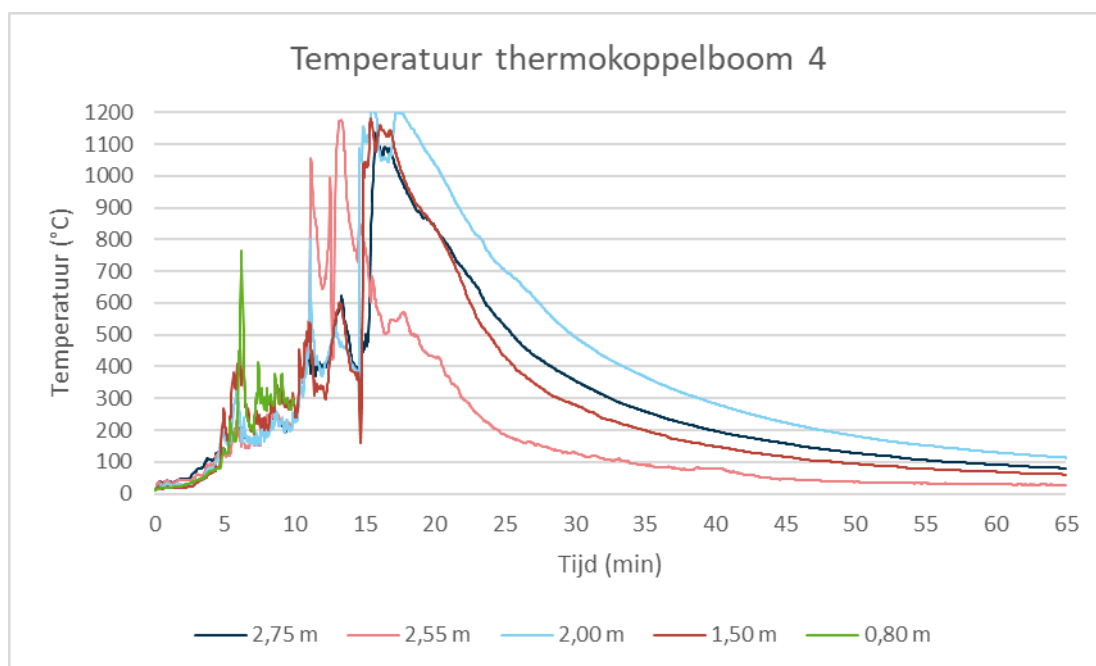
Bijzonderheden bij het experiment

Meerdere thermokoppels zijn naar beneden gevallen tijdens het experiment. De temperatuurmetingen zijn na het vallen niet meer betrouwbaar. Dit betreft boom 1 op hoogte 0,8 meter vanaf 17,5 minuut, boom 4 op hoogte 0,8 meter vanaf 10 minuten, boom 5 op hoogtes 0,8 en 1,5 meter vanaf 9 minuten en hoogte 2 meter vanaf 11,5 minuut, boom 6 op hoogtes 0,8 en 1,5 meter vanaf 10,5 minuut, boom 7 op hoogte 1,5 meter vanaf 16,5 minuut en hoogte 2 meter vanaf 25 minuten.

Een aantal thermokoppels zat na afloop van het experiment niet meer op hun plek, maar op camerabeelden is niet te zien wanneer ze gevallen zijn. Dit betreft boom 1 op hoogtes 1,5 en 2 meter en boom 7 op hoogte 0,8 meter vanaf 17,5 minuut. Omdat niet duidelijk is vanaf welk moment de thermokoppels niet meer op de juiste plek meten, zijn de betreffende metingen na 17,5 minuut als onvoldoende betrouwbaar beschouwd door de onderzoekers. Daarnaast is de temperatuurmeting van boom 6 op hoogtes 2 en 2,55 meter niet betrouwbaar tussen 16,5 en 18 minuten.

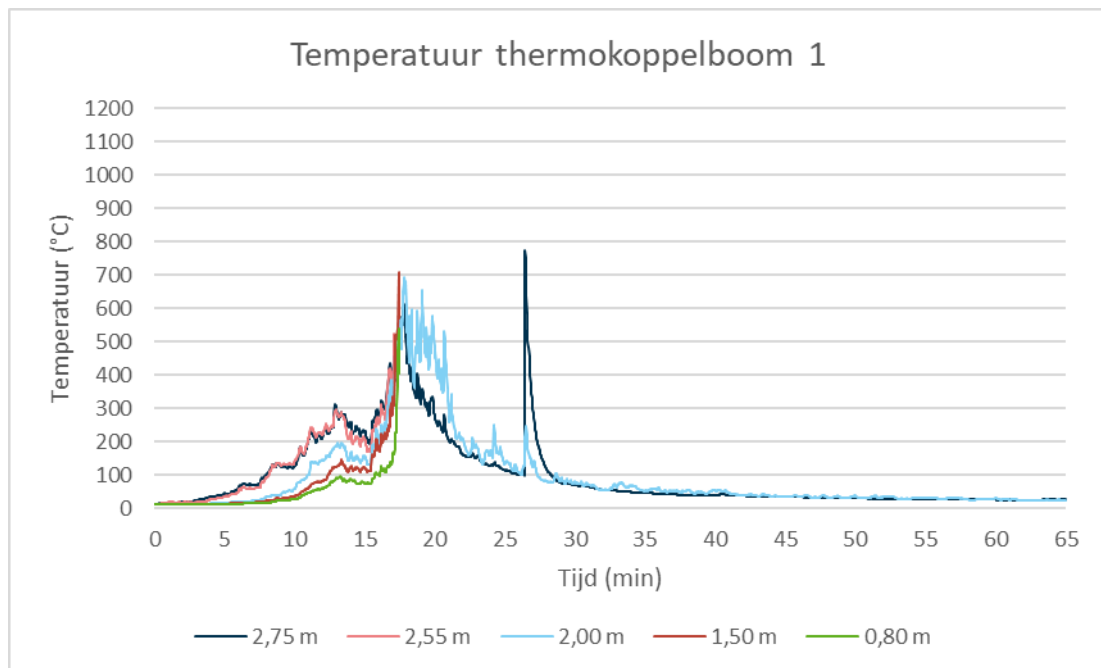
Temperatuur

De gemeten temperatuur van twee thermokoppelbomen is weergegeven in figuur 2.31 en figuur 2.32. In figuur 2.31 staan de temperatuurmetingen van thermokoppelboom 4; deze staat direct rechts naast de ontstoken fatbike. De hoogste temperatuur van $> 1.200\text{ }^{\circ}\text{C}$ is gemeten op 2 m hoogte. Het meetbereik van de thermokoppels is tot $1.200\text{ }^{\circ}\text{C}$; tot deze waarde zijn de metingen nauwkeurig. Bij hogere meetwaarden heeft de temperatuur in ieder geval $1.200\text{ }^{\circ}\text{C}$ bereikt. Alle meetwaarden daarboven zijn niet nauwkeurig en zijn in dit rapport niet meegenomen.



Figuur 2.31 Gemeten temperatuur fatbikes (rechts van ontstoken fatbike)

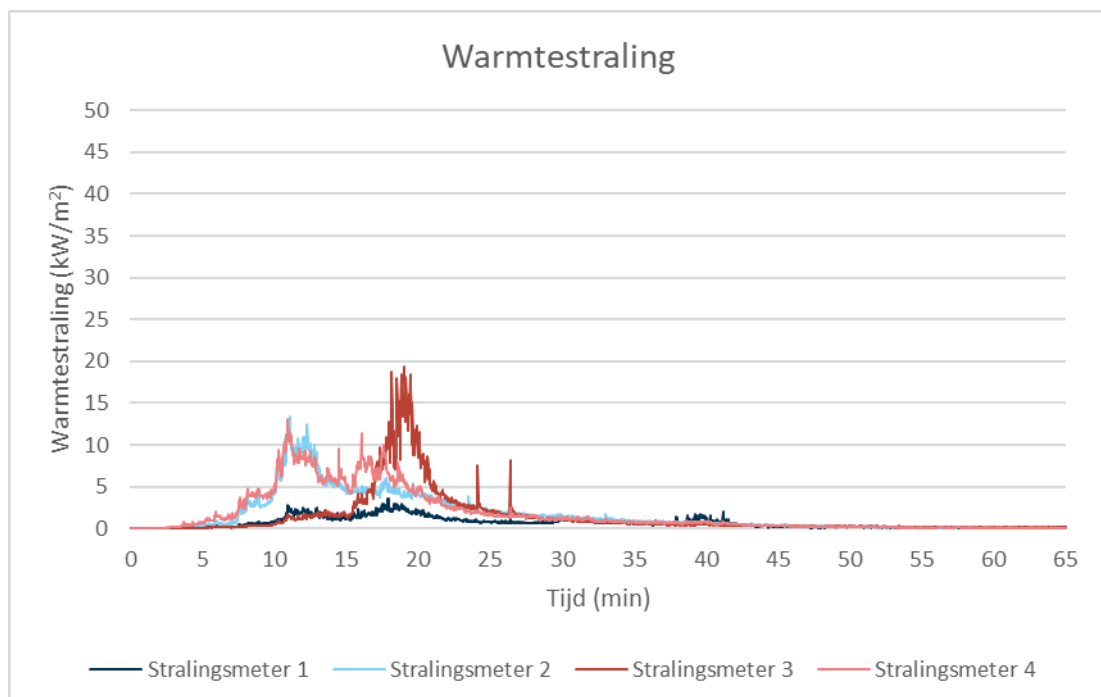
De temperatuurmetingen van thermokoppelboom 1 zijn opgenomen in figuur 2.32. Deze thermokoppelboom staat aan de kopse kant aan de achterzijde van de ruimte. Op 2,75 m hoogte is de hoogste temperatuur gemeten, namelijk $774\text{ }^{\circ}\text{C}$. Vanwege het ontbreken van beelden is er geen verklaring voor de kortstondige piek van bijna $800\text{ }^{\circ}\text{C}$ op 2,75 meter hoogte 26,5 minuut na ontsteking.



Figuur 2.32 Gemeten temperatuur fatbikes (kopse kant achterzijde stalling)

Straling

In figuur 2.33 is de gemeten straling weergegeven. De hoogst gemeten waarde tijdens het experiment is $19,3 \text{ kW/m}^2$; deze is gemeten door stalingsmeter 3 (achterzijde), ruim 19 minuten na de start van het experiment.



Figuur 2.33 Gemeten straling fatbikes

2.3.2 Branduitbreiding

Warmtestraling

Op stralingsmeters 2 (linkerzijde), 3 en 4 (rechterzijde) zijn overschrijdingen van de grenswaarde voor 'branduitbreiding mogelijk' van 10 kW/m² of meer waargenomen; dit is te zien in figuur 2.33. Na 10 minuten en 44 seconden zijn op stralingsmeters 2 en 4 de eerste overschrijding waargenomen.

De grenswaarde voor 'branduitbreiding aannemelijk' wordt niet overschreden (≥ 25 kW/m² gedurende 30 seconden of ≥ 45 kW/m² gedurende 10 seconden).

Bijzondere brandfenomenen

Op beelden is te zien dat meerdere accucellen zijn weggeschoten over een afstand van 2,15 m of meer, en een nabrandduur hebben van 10 seconden of meer. De grenswaarde voor 'branduitbreiding aannemelijk' wordt hierdoor overschreden. Meerdere accu's hebben afgeblazen, met steekvlammen tot gevolg. Deze steekvlammen waren maximaal ongeveer 2 meter lang.

Samenvatting analyse branduitbreiding

In tabel 2.3 is het resultaat van de analyse ten aanzien van de branduitbreiding samengevat.

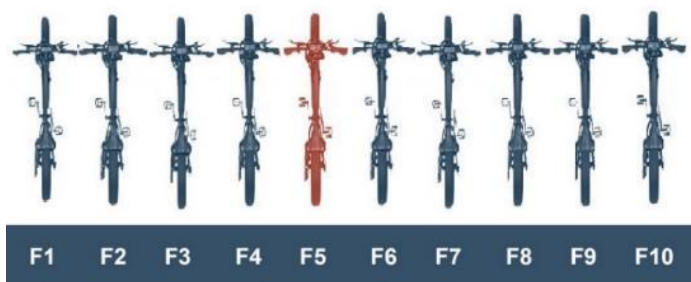
Tabel 2.3 Branduitbreiding fatbikes

Experiment	Piek warmtestraling [kW/m ²]	Afstand en nabrandduur weggeschoten accucellen	Branduitbreiding naar andere rij mogelijk	Branduitbreiding naar andere rij aannemelijk
Fatbikes zonder sprinkler	19,3	$\geq 2,15$ m ≥ 10 seconden	Ja (richting linker-, rechter- en achterzijde ¹⁰)	Ja, op basis van afstand en nabrandduur weggeschoten accucellen

2.4 Fatbikes met sprinkler gevarenklasse HC-3

In deze paragraaf zijn de resultaten weergegeven van het experiment met fatbikes met sprinkler gevarenklasse HC-3. In deze stallingssituatie staan 10 fatbikes naast elkaar. De ontstekingsbronnen worden ontstoken bij de vijfde fatbike, gezien vanaf de deuropening, in het midden van de rij (F5). De opstelling is te zien in figuur 2.34.

¹⁰ Richting bepaald op basis van warmtestraling.

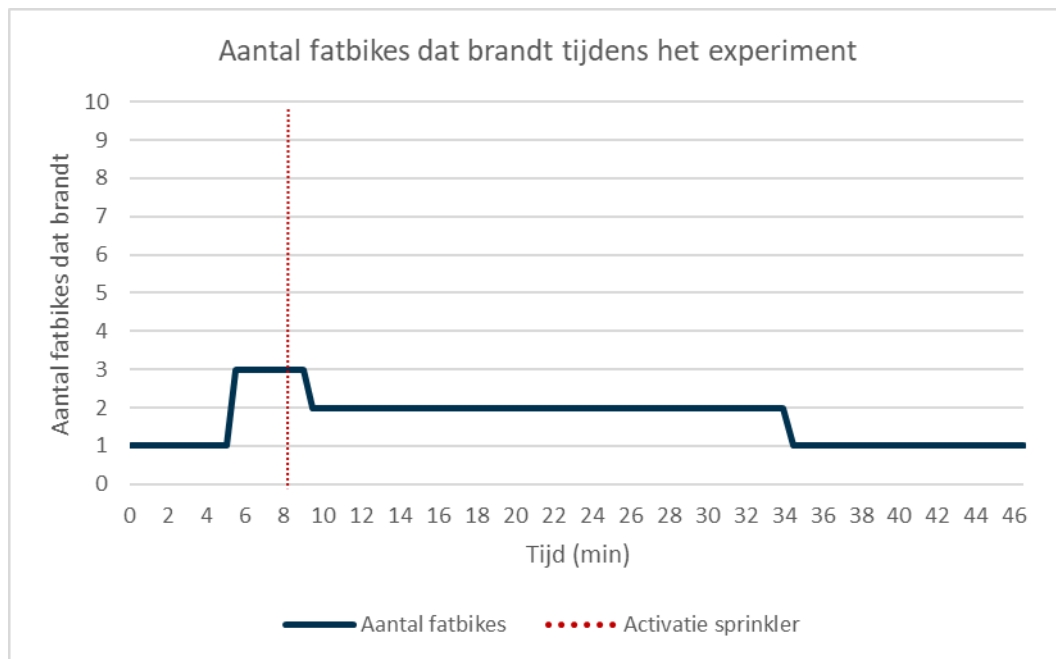


Figuur 2.34 Opstelling fatbikes met de posities van de fatbikes

2.4.1 Brandverloop

Na het aansteken van de ontstekingsbronnen brandt binnen een minuut het omhulsel van de twee accu's die geplaatst zijn onder het zadel en op het frame. Na ruim een minuut brandt het zadel van de fatbike en een minuut later ook het achterzitje. Bijna 3,5 minuut na de start vindt de eerste thermal runaway plaats. Fatbikes F4 en F6 ontbranden tegelijkertijd op ongeveer 5,5 minuut na ontsteking door de warmtestraling en het afblazen van accucellen van fatbike F5. Na 8 minuten en 26 seconden activeert de sprinklerkop rechtsachter in de stalling. Op dat moment branden er drie fatbikes. De thermal runaway van de accu's stoppen bijna 9 minuten na ontsteking, zo'n 30 seconden na activatie van de sprinkler. Binnen een minuut na de activatie van de sprinkler is te zien dat de vlammen van de initieel ontstoken fatbike geblust zijn. Enkel op de achterbanden van de naastgelegen fatbikes (F4 en F6) zijn nog vlammen te zien. De vlammen van fatbike F4 nemen vanaf 12 minuten na activatie van de sprinkler (20,5 minuut na start experiment) in omvang toe. Ongeveer 6 minuten later branden het zadel en het achterzitje van fatbike F4. Circa 20,5 minuut na activatie van de sprinkler gaat de accu onder het zadel van fatbike F4 in thermal runaway. Dit duurt ongeveer 8 minuten. De vlammen van fatbike F6 worden circa 26 minuten na activatie van de sprinkler gedoofd. Circa 46,5 minuut na de ontsteking en 38 minuten na activatie van de sprinkler zijn nog enkele kleine vlammetjes zichtbaar bij fatbike F4 en is het experiment beëindigd.

In figuur 2.35 is een overzicht opgenomen van het aantal fatbikes dat brandt tijdens het experiment. Uiteindelijk zijn van de ontstoken fatbike beide accu's uitgebrand. Van fatbike F4 is de accu onder het zadel uitgebrand; de accu op het frame is ernstig aangetast door de brand. Beide accu's van fatbike F6 zijn zwaar aangetast door de brand.

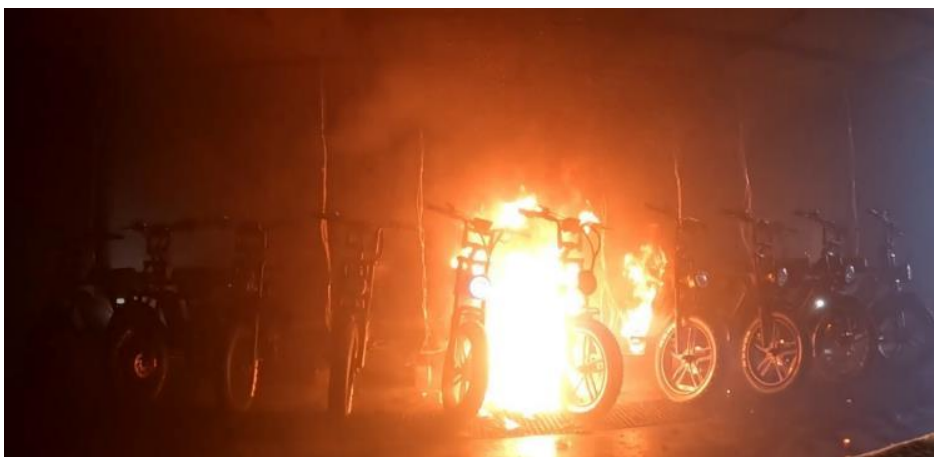


Figuur 2.35 Aantal fatbikes dat brandt

Afbeeldingen van verschillende momenten van de brand van de opstelling met fatbikes met sprinkler HC-3 zijn opgenomen in figuur 2.36 tot en met figuur 2.39. In figuur 2.40 zijn fatbikes F4, F5 en F6 te zien na het experiment.



Figuur 2.36 Brandontwikkeling fatbikes met sprinkler HC-3 5 minuten na start experiment



Figuur 2.37 Brandontwikkeling fatbikes met sprinkler HC-3 8,5 minuut na start experiment (enkele seconden voor activatie sprinkler)



Figuur 2.38 Brandontwikkeling fatbikes met sprinkler HC-3 9,5 minuut na start experiment (1 minuut na activatie sprinkler)



Figuur 2.39 Brandontwikkeling fatbikes met sprinkler HC-3 34,5 minuut na start experiment (26 minuten na activatie sprinkler)



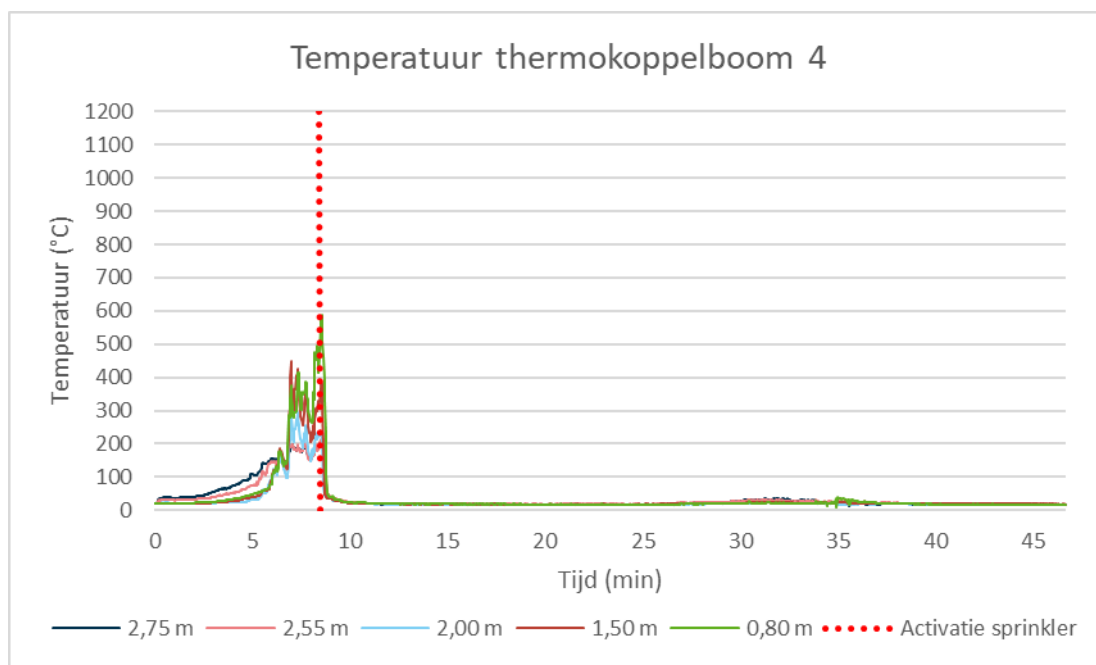
Figuur 2.40 Fatbikes F4, F5 en F6 na het experiment

Bijzonderheden bij het experiment

De temperatuurmetingen van thermokoppelboom 5 zijn tussen 34 en 37 minuten niet betrouwbaar.

Temperatuur

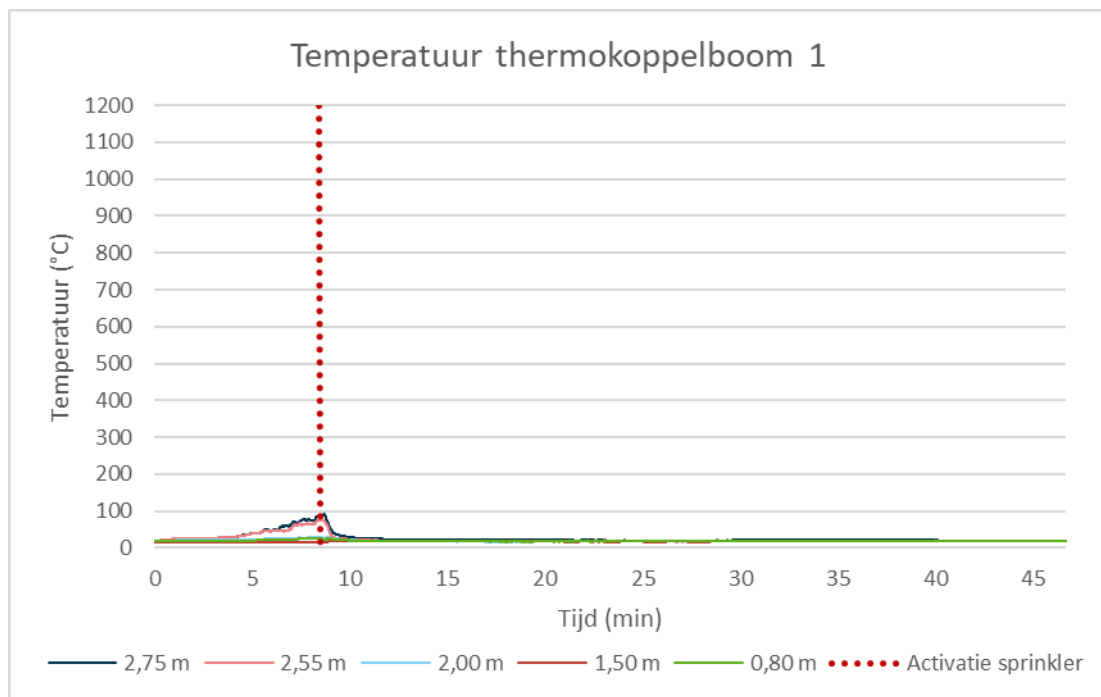
De gemeten temperatuur van twee thermokoppelbomen is weergegeven in figuur 2.41 en figuur 2.42. De temperatuurmetingen van thermokoppelboom 4 staan in figuur 2.41. Deze thermokoppelboom staat direct rechts naast de ontstoken fatbike. De hoogste temperatuur van 589 °C is gemeten op 0,8 m hoogte. De temperatuur komt op 2 meter en hoger niet boven de 300 °C. Binnen twee minuten na activatie van de sprinkler daalt de temperatuur op alle meetpunten tot onder de 100 °C.



Figuur 2.41 Gemeten temperatuur fatbikes met sprinkler HC-3¹¹ (rechts van ontstoken fatbike)

¹¹ Onbruikbare data tussen 33,5 minuut en 37,5 minuut

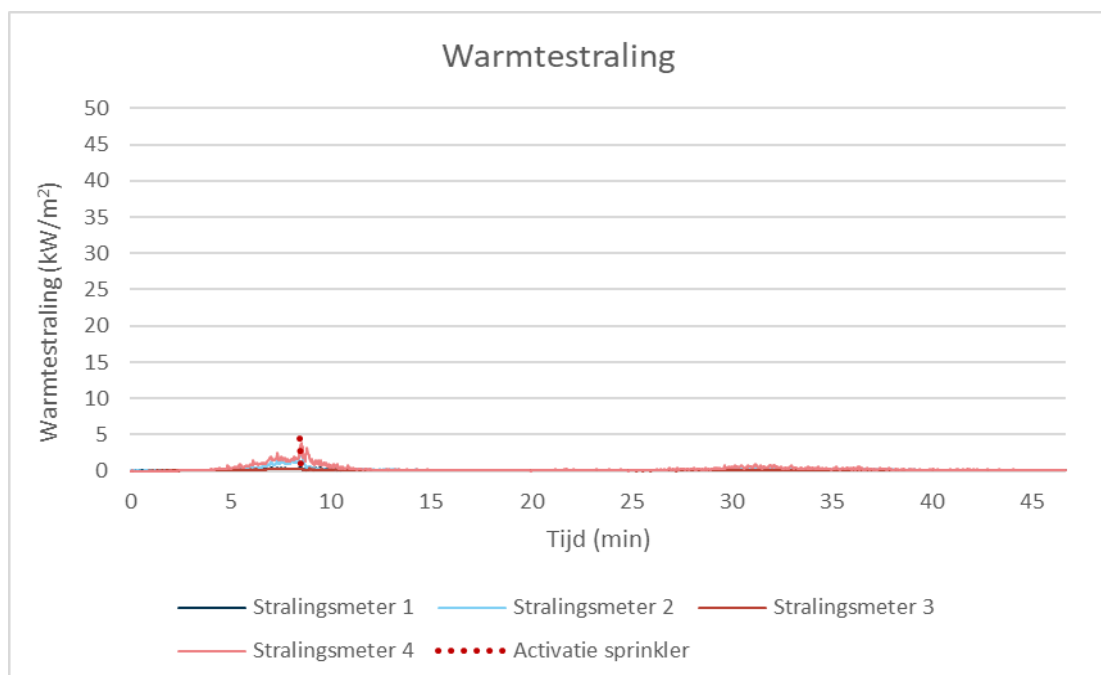
De temperatuurmetingen van thermokoppelboom 1 zijn opgenomen in figuur 2.42. Deze thermokoppelboom staat aan de kopse kant aan de achterzijde van de ruimte. Op 2,75 m hoogte is de hoogste temperatuur gemeten, namelijk 93 °C.



Figuur 2.42 Gemeten temperatuur fatbikes met sprinkler HC-3 (kopse kant achterzijde stalling)

Straling

In figuur 2.43 is de gemeten straling weergegeven. De hoogst gemeten waarde tijdens het experiment is 3,9 kW/m²; deze is gemeten door stalingsmeter 4 (rechterzijde) op 8,5 minuut na de start van het experiment.



Figuur 2.43 Gemeten straling fatbikes met sprinkler HC-3

2.4.2 Branduitbreiding

Warmtestraling

Zoals te zien is in figuur 2.43, zijn de grenswaarden voor 'branduitbreiding mogelijk' (≥ 10 kW/m²) en 'branduitbreiding aannemelijk' (≥ 25 kW/m² gedurende 30 seconden of ≥ 45 kW/m² gedurende 10 seconden) niet overschreden.

Bijzondere brandfenomenen

Op beelden is te zien dat meerdere accucellen zijn weggeschoten over een afstand van 2,15 m. Deze hadden een nabrandduur van meer dan 2 seconden, maar minder dan 10 seconden. De grenswaarde voor 'branduitbreiding mogelijk' wordt hierdoor overschreden, maar de grenswaarde voor 'branduitbreiding aannemelijk' niet. Meerdere accu's hebben afgeblazen, met steekvlammen tot gevolg. Deze steekvlammen waren maximaal ongeveer 1,5 meter lang.

Samenvatting analyse branduitbreiding

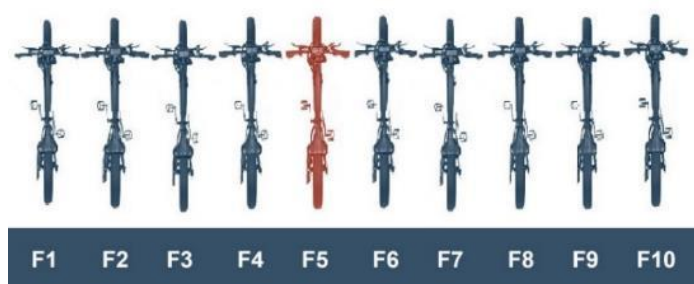
In tabel 2.4 is het resultaat van de analyse van de branduitbreiding samengevat.

Tabel 2.4 Branduitbreiding fatbikes met sprinkler HC-3

Experiment	Piek warmte-straling [kW/m ²]	Afstand en nabrandduur weggeschoten accucellen	Branduitbreiding naar andere rij mogelijk	Branduitbreiding naar andere rij aannemelijk
Fatbikes met HC-3 sprinkler	3,9	$\geq 2,15$ m ≥ 2 seconden < 10 seconden	Ja, op basis van afstand en nabrandduur weggeschoten accucellen	Nee

2.5 Fatbikes met sprinkler gevarenklasse HC-2

In deze paragraaf zijn de resultaten weergegeven van het experiment met fatbikes met sprinkler gevarenklasse HC-2. In deze stallingssituatie staan 10 fatbikes naast elkaar. De ontstekingsbronnen worden ontstoken bij de vijfde fatbike, gezien vanaf de deuropening, in het midden van de rij (F5). De opstelling is te zien in figuur 2.44.

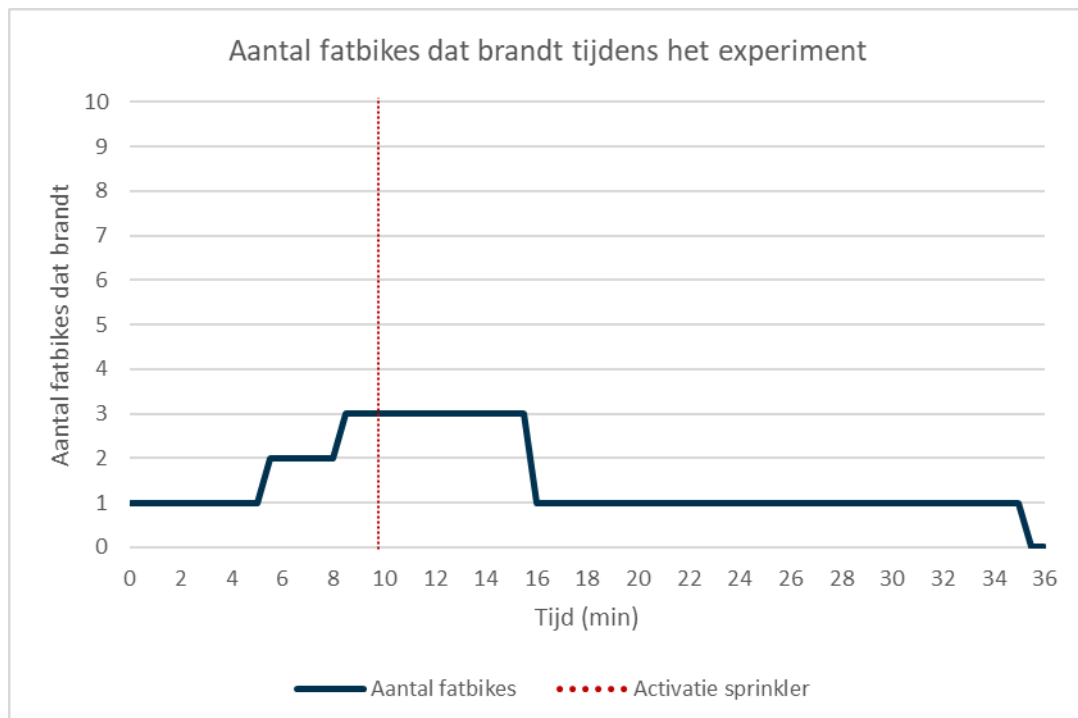


Figuur 2.44 Opstelling fatbikes met de posities van de fatbikes

2.5.1 Brandverloop

Na het aansteken van de ontstekingsbronnen brandt binnen een minuut het omhulsel van de twee accu's die geplaatst zijn onder het zadel en op het frame. Na ruim een minuut brandt het zadel van de fatbike en een minuut later brandt ook het achterzitje. 3,5 minuut na ontsteking vindt de eerste thermal runaway plaats. Circa 5,5 minuut na de start ontbranden het zadel en achterzitje van fatbike F6 als gevolg van de warmtestraling en van contact met de vlammen door het afblazen van accucellen van de initieel ontstoken fatbike. Ook de kettingkast van fatbike F4 ontbrandt op deze manier, ruim 8,5 minuut na ontsteking. Fatbike F5 valt ongeveer 9 minuten na de start van het experiment tegen fatbike F4. 9:51 minuut na ontsteking activeert eerst de sprinklerkop rechtsachter in de stalling en 5 seconden later activeert de sprinklerkop links voorin de stalling. Binnen 30 seconden na de activatie van de twee sprinklerkoppen is te zien dat de vlammen van de zadels van de fatbikes geblust zijn. Enkel op de achterbanden zijn nog vlammen te zien en bij de accu's van fatbikes F4 en F5. Ruim 14,5 minuut na start experiment en 4,5 minuut na activatie van de sprinklerkoppen vindt de eerste thermal runaway plaats van de accu onder het zadel van fatbike F4. De accu op het frame gaat 7,5 minuut later in thermal runaway. De thermal runaways vinden plaats tot 35 minuten na de start van het experiment. Circa 16 minuten na de start van het experiment zijn de vlammen van fatbike F5 en F6 gedoofd. Na de laatste thermal runaway worden de laatste vlammen van fatbike F4 gedoofd door de sprinkler. Het experiment wordt beëindigd op 35,5 minuut na de start en 25,5 minuut na activatie van de twee sprinklerkoppen.

In figuur 2.45 is een overzicht opgenomen van het aantal fatbikes dat brandt tijdens het experiment. Uiteindelijk zijn van de ontstoken fatbike en fatbike F4 beide accu's uitgebrand. Beide accu's van fatbike F6 zijn zwaar aangetast door de brand.



Figuur 2.45 Aantal fatbikes dat brandt

Afbeeldingen van verschillende momenten van de brand van de opstelling met fatbikes met sprinkler HC-2 zijn opgenomen in figuur 2.46 tot en met figuur 2.50. In figuur 2.51 zijn fatbikes F4, F5 en F6 te zien na het experiment.



Figuur 2.46 Brandontwikkeling fatbikes met sprinkler HC-2 5 minuten na start experiment



Figuur 2.47 Brandontwikkeling fatbikes met sprinkler HC-2 7,5 minuut na start experiment



Figuur 2.48 Brandontwikkeling fatbikes met sprinkler HC-2 10 minuten na start experiment (enkele seconden voor activatie sprinklers)



Figuur 2.49 Brandontwikkeling fatbikes met sprinkler HC-2 11 minuten na start experiment (1 minuut na activatie sprinklers)



Figuur 2.50 Brandontwikkeling fatbikes met sprinkler HC-2 30 minuten na start experiment (20 minuten na activatie sprinklers)



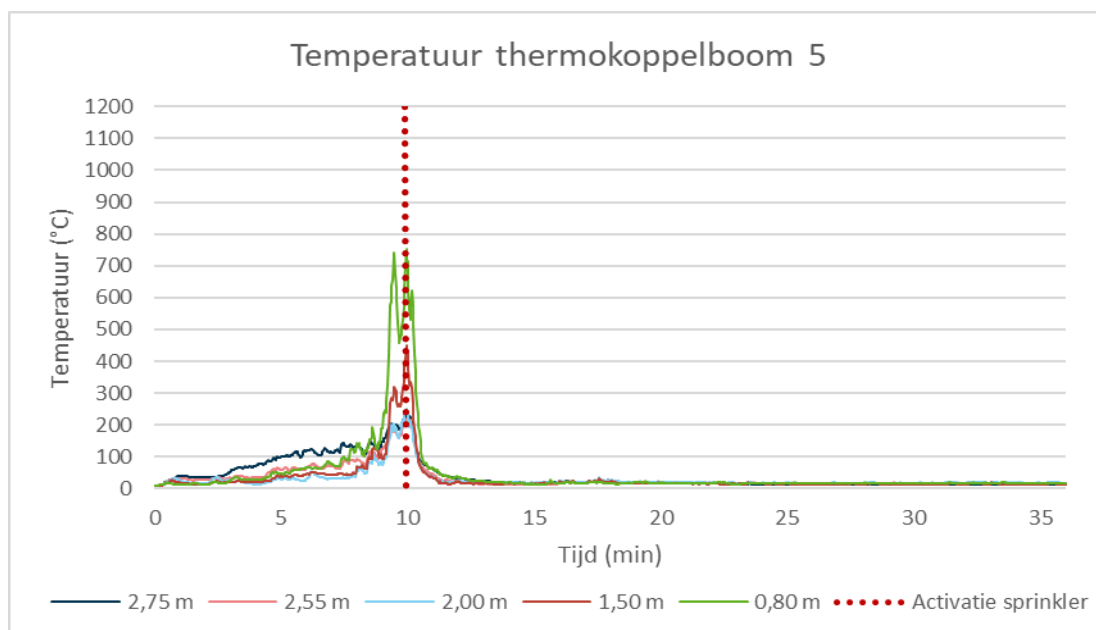
Figuur 2.51 Fatbikes F4, F5 en F6 na het experiment

Bijzonderheden bij het experiment

Er zijn geen bijzonderheden aan te wijzen in de opzet en het verloop van dit experiment.

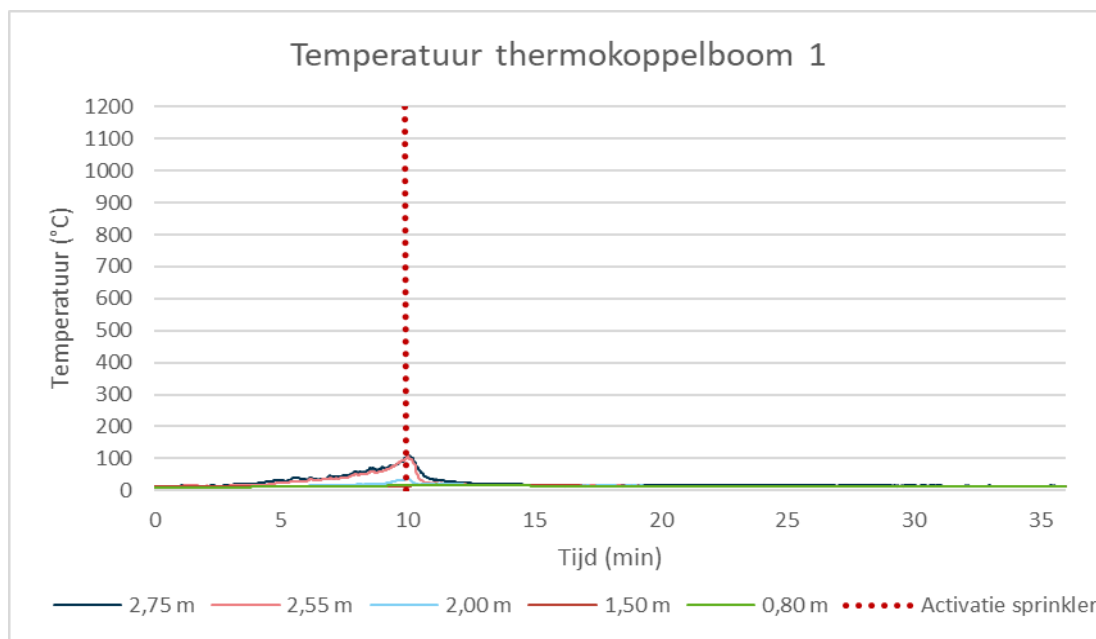
Temperatuur

De gemeten temperatuur van twee thermokoppelbomen is weergegeven in figuur 2.52 en figuur 2.53. De temperatuurmetingen van thermokoppelboom 5 staan in figuur 2.52. Deze thermokoppelboom staat direct links naast de ontstoken fatbike. De hoogste temperatuur van 754 °C is gemeten op 0,80 m hoogte. Binnen twee minuten na activatie van de sprinkler daalt de temperatuur op alle meetpunten tot onder de 100 °C.



Figuur 2.52 Gemeten temperatuur fatbikes met sprinkler HC-2 (links van ontstoken fatbike)

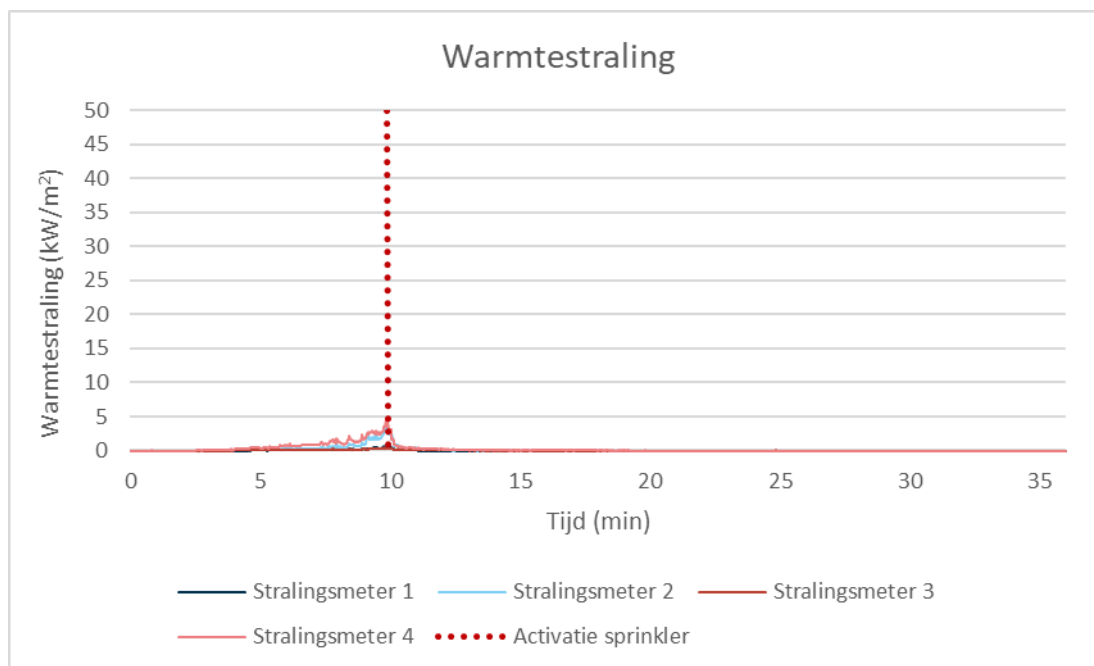
De temperatuurmetingen van thermokoppelboom 1 zijn opgenomen in figuur 2.53. Deze thermokoppelboom staat aan de kopse kant aan de achterzijde van de ruimte. Op 2,75 m en 2,55 m hoogte is de hoogste temperatuur gemeten, namelijk 108 °C.



Figuur 2.53 Gemeten temperatuur fatbikes met sprinkler HC-2 (kopse kant achterzijde stalling)

Straling

In figuur 2.54 is de gemeten straling weergegeven. De hoogst gemeten waarde tijdens het experiment is 4,6 kW/m²; deze waarde is gemeten door stralingsmeter 4 (rechterzijde) ongeveer 10 minuten na de start van het experiment.



Figuur 2.54 Gemeten straling fatbikes met sprinkler HC-2

2.5.2 Branduitbreiding

Warmtestraling

Zoals te zien is in figuur 2.54, zijn de grenswaarden voor 'branduitbreiding mogelijk' (≥ 10 kW/m²) en 'branduitbreiding aanneemelijk' (≥ 25 kW/m² gedurende 30 seconden of ≥ 45 kW/m² gedurende 10 seconden) niet overschreden.

Bijzondere brandfenomenen

Op beelden is te zien dat meerdere accucellen zijn weggeschoten over een afstand van 2,15 m. Deze cellen hadden een nabrandduur van meer dan 2 seconden, maar minder dan 10 seconden. De grenswaarde voor 'branduitbreiding mogelijk' wordt hierdoor overschreden, maar de grenswaarde voor 'branduitbreiding aanneemelijk' niet. Meerdere accu's hebben afgeblazen, wat steekvlammen tot gevolg had. Deze steekvlammen waren maximaal ongeveer 1 meter lang.

Samenvatting analyse branduitbreiding

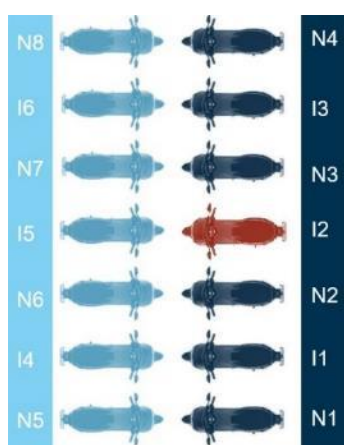
In tabel 2.5 is het resultaat van de analyse van de branduitbreiding samengevat.

Tabel 2.5 Branduitbreiding fatbikes met sprinkler HC-2

Experiment	Piek warmte-straling [kW/m ²]	Afstand en nabrandduur weggeschoten accucellen	Branduitbreiding naar andere rij mogelijk	Branduitbreiding naar andere rij aannemelijk
Fatbikes met HC-2 sprinkler	4,6	≥ 2,15 m ≥ 2 seconden < 10 seconden	Ja, op basis van afstand en nabrandduur weggeschoten accucellen	Nee

2.6 Scooters met sprinkler gevarenklasse HC-3

In deze paragraaf zijn de resultaten van het experiment met scooters met sprinkler gevarenklasse HC-3 weergegeven. Deze opstelling bestaat uit een dubbele rij met 7 scooters per rij, met de voorzijdes vrijwel tegen elkaar aan. In totaal staan er 14 scooters, waarvan 8 elektrische scooters (type N) en 6 benzinescooters (type I). De ontstekingsbron wordt ontstoken bij de benzinescooter in het midden van de rij aan de rechterzijde. De opstelling is te zien in figuur 2.55.



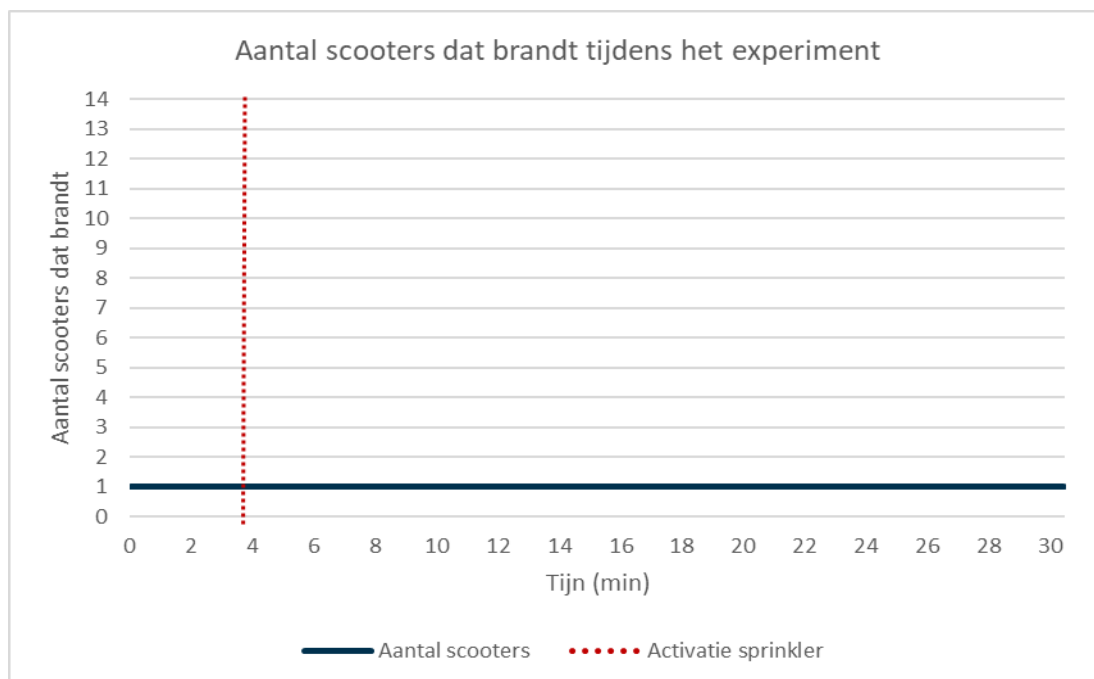
Figuur 2.55 Opstelling scooters met de posities van de scooters

2.6.1 Brandverloop

Na het aansteken van de ontstekingsbron brandt binnen een minuut de onderplaat van scooter I2. Iets meer dan een minuut na de start branden de stuurkolom en het voorspatbord. De buddyseats van de twee naastgelegen elektrische scooters N2 en N3 zijn flink aan het pyrolyseren (uitgassen). Op basis van de beelden is niet met zekerheid te zeggen of deze twee scooters ontbranden. 4:10 minuut na ontsteking wordt de sprinklerkop rechtsvoor in de stalling geactiveerd. Ruim 5 minuten na ontsteking komt er benzine vrij uit de brandstoftank van de ontstoken benzinescooter. De plasbrand die hierdoor ontstaat, is binnen ongeveer 1 minuut opgebrand. Gedurende bijna 5 minuten na activatie van de sprinklerkop (tot 9 minuten na de start van het experiment) wordt de brand van scooter I2 kleiner. Hierna laait de brand weer op. De brand bevindt zich op dat moment onder de buddyseat, waar het water uit de sprinkler niet kan doordringen tot de kern van de brand. Het oplaaien van de brand duurt circa 3 minuten. Ongeveer 12 minuten na de start van het experiment wordt de brand weer kleiner. Circa 15 minuten na de start van het experiment

zijn er alleen nog vlammen zichtbaar onder de buddyseat. Circa 30 minuten na de ontsteking en 26 minuten na activatie van de sprinkler zijn nog enkele kleine vlammetjes zichtbaar bij scooter I2 en is het experiment beëindigd.

In figuur 2.56 is een overzicht opgenomen van het aantal scooters dat betrokken is geweest bij de brand. Hoewel dit maar van één scooter met zekerheid kan worden gesteld, is er wel (lichte) schade ontstaan aan vijf andere scooters. De stuurkolommen en de zadels van de twee naastgelegen elektrische scooters N2 en N3 zijn deels gesmolten en verbrand. Daarnaast is er schade aan benzinescooter I5 (tegenover benzinescooter I1). De stuurkolom met zijspiegels van deze scooter is deels gesmolten. Tot slot zijn er wat gesmolten gedeeltes te zien op de voorspatborden en stuurkolommen van de tegenover geplaatste elektrische scooters N6 en N7.



Figuur 2.56 Aantal scooters dat brandt

Afbeeldingen van verschillende momenten van de brand van de opstelling met scooters met sprinkler HC-3 zijn opgenomen in figuur 2.57 tot en met figuur 2.61. In figuur 2.62 zijn scooters I2, N2 en N3 te zien na het experiment.



Figuur 2.57 Brandontwikkeling scooters met sprinkler HC-3 4 minuten na start experiment (enkele seconden voor activatie sprinkler)



Figuur 2.58 Brandontwikkeling scooters met sprinkler HC-3 5 minuten na start experiment (1 minuut na activatie sprinklers)



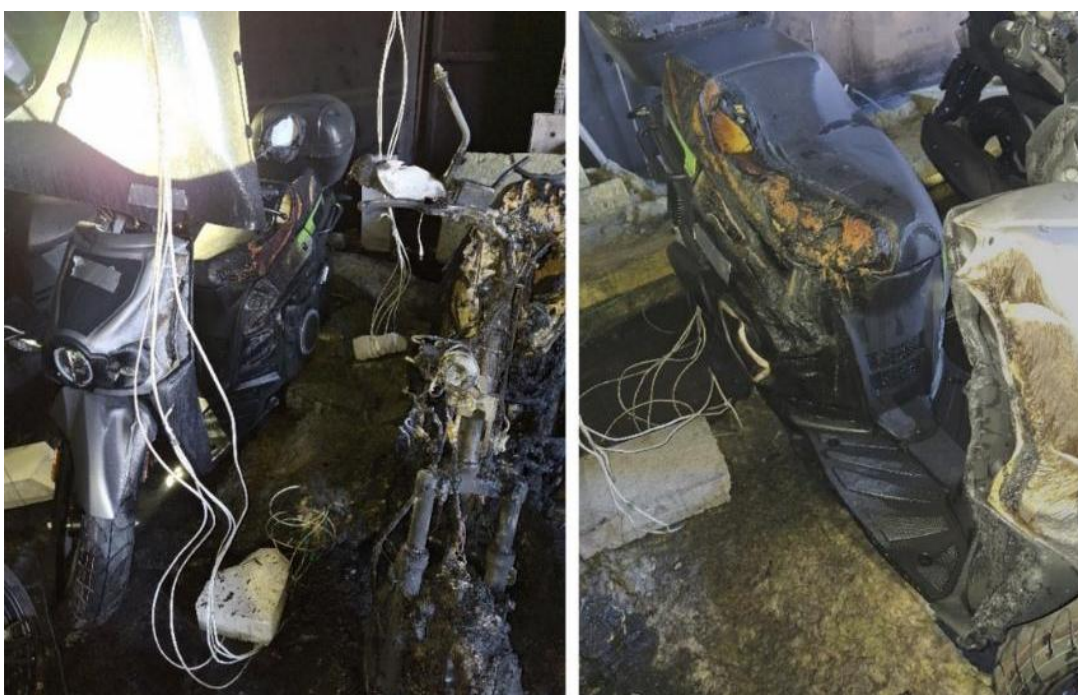
Figuur 2.59 Brandontwikkeling scooters met sprinkler HC-3 8 minuten na start experiment (4 minuten na activatie sprinklers)



Figuur 2.60 Brandontwikkeling scooters met sprinkler HC-3 10 minuten na start experiment (6 minuten na activatie sprinklers)



Figuur 2.61 Brandontwikkeling scooters met sprinkler HC-3 30 minuten na start experiment (26 minuten na activatie sprinklers)



Figuur 2.62 Scooters N3, I2 en N2 (van links naar rechts) na het experiment

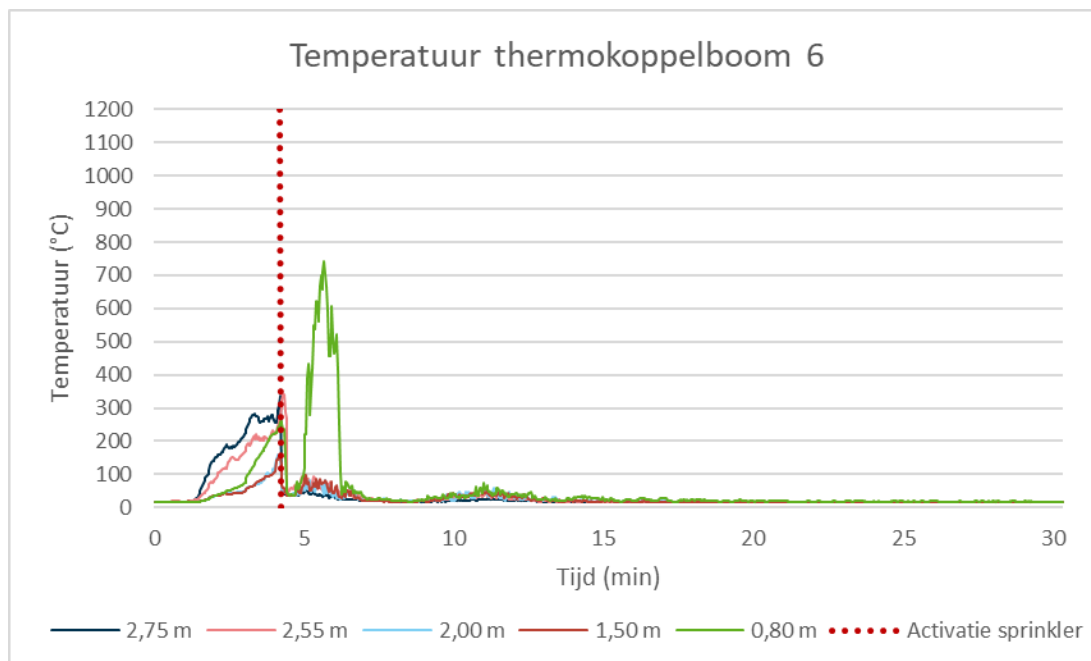
Bijzonderheden bij het experiment

Stralingsmeter 1 was defect en is niet gebruikt tijdens het experiment. Stralingsmeter 2 stond op 1,73 m afstand van de scooters en stralingsmeter 4 op 1,10 m, in plaats van 2,15 m zoals beschreven in het experimentplan. Dit is gedaan door het brandlab, omdat de testruimte niet groter was.

De temperatuurmetingen van thermokoppelboom 1 op 2,55 m hoogte zijn tussen 22,5 minuut en 25 minuten niet betrouwbaar.

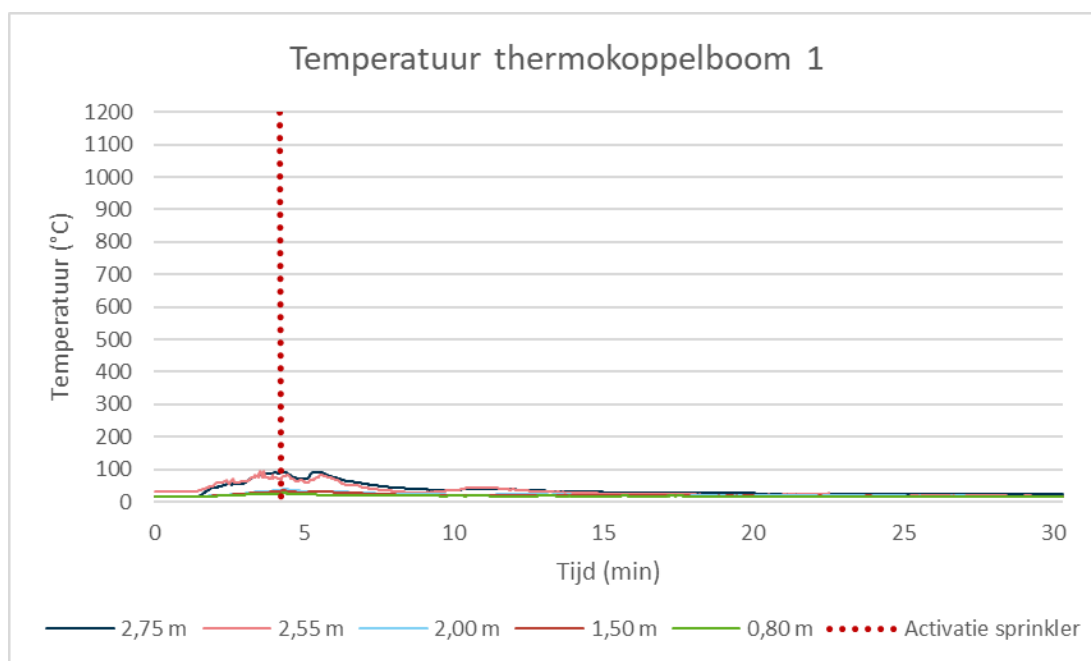
Temperatuur

De gemeten temperatuur van twee thermokoppelbomen is weergegeven in figuur 2.63 en figuur 2.64. De temperatuurmetingen van thermokoppelboom 6 staan in figuur 2.63. Deze thermokoppelboom staat direct links naast de ontstoken scooter. De hoogste temperatuur van 742 °C is gemeten op 0,80 m hoogte. Deze piek vindt plaats na activatie van de sprinkler. De hoge temperatuur wordt vermoedelijk veroorzaakt door de uitstroom van benzine en het tijdelijk oplaaien van de brand.



Figuur 2.63 Gemeten temperatuur scooters met sprinkler HC-3 (links van ontstoken scooter)

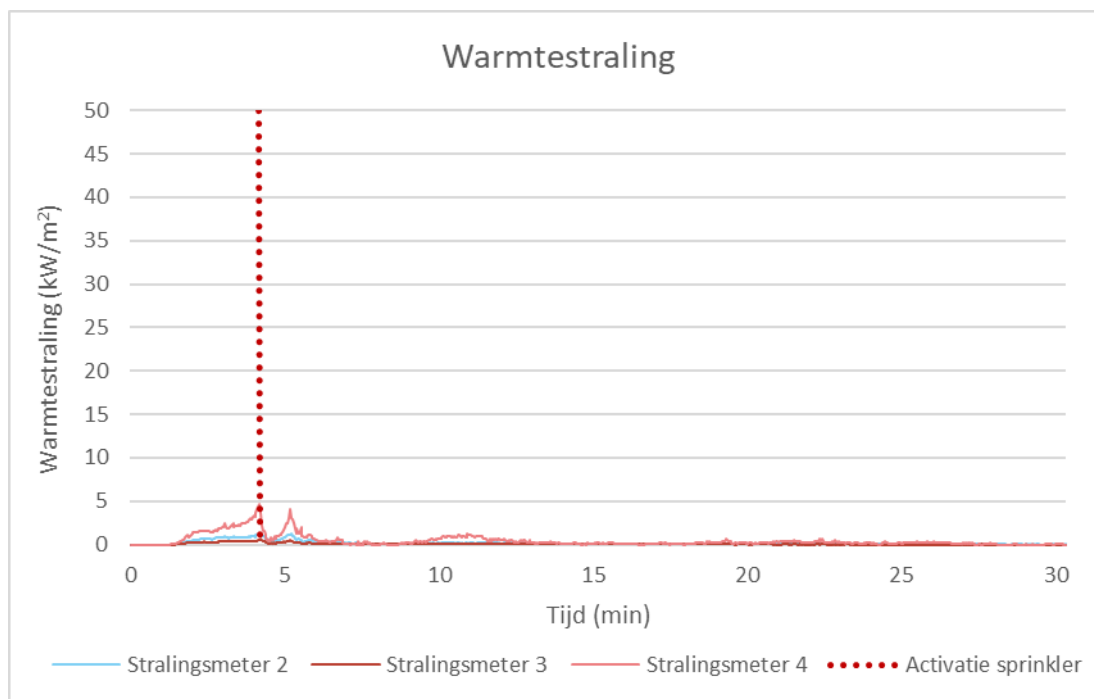
De temperatuurmetingen van thermokoppelboom 1 zijn opgenomen in figuur 2.64. Deze thermokoppelboom staat aan de kopse kant aan de achterzijde van de ruimte. Op 2,55 m hoogte is de hoogste temperatuur gemeten, namelijk 96 °C.



Figuur 2.64 Gemeten temperatuur scooters met sprinkler HC-3 (kopse kant achterzijde stalling)

Straling

In figuur 2.65 is de gemeten straling weergegeven. De hoogst gemeten waarde tijdens het experiment is 4,6 kW/m²; deze is gemeten door stralingsmeter 4 (rechterzijde), ruim 4 minuten na de start van het experiment.



Figuur 2.65 Gemeten straling scooters met sprinkler HC-3¹²

2.6.2 Branduitbreiding

Warmtestraling

Zoals te zien is in figuur 2.65, zijn tijdens het experiment de grenswaarden voor 'branduitbreiding mogelijk' (≥ 10 kW/m²) en 'branduitbreiding aanneemelijk' (≥ 25 kW/m² gedurende 30 seconden of ≥ 45 kW/m² gedurende 10 seconden) niet overschreden. Stralingsmeters 2 en 4 stonden op een kleinere afstand dan de breedte van een gangpad in de stallingen van ProRail. Dit betekent dat de verwachte warmtestraling aan de andere zijde van een pad nog lager is dan op deze plekken is gemeten tijdens het experiment. Stralingsmeter 1 was defect tijdens het experiment. Omdat de afstand tot de brand van stralingsmeter 1 en 3 ongeveer gelijk is, wordt verwacht dat de warmtestraling op de plek van stralingsmeter 1 overeenkomt met de warmtestraling gemeten door stralingsmeter 3.

Bijzondere brandfenomenen

Op beelden is te zien dat er tijdens het experiment geen thermal runaways hebben plaatsgevonden. Er zijn geen accucellen weggeschoten of afgeblazen. De grenswaarden voor 'branduitbreiding mogelijk' of 'branduitbreiding aanneemelijk' zijn hierdoor niet overschreden.

Samenvatting analyse branduitbreiding

In tabel 2.6 is het resultaat van de analyse van de branduitbreiding samengevat.

¹² Stralingsmeter 1 defect, stralingsmeter 2 stond op 1,73 m en stralingsmeter 4 op 1,10 m vanaf de buitenrand van de scooters (i.p.v. op 2,15 meter).

Tabel 2.6 Branduitbreiding scooters met sprinkler HC-3

Experiment	Piek warmte-straling [kW/m ²]	Afstand en nabrandduur weggeschoten accucellen	Branduitbreiding naar andere rij mogelijk	Branduitbreiding naar andere rij aannemelijk
Scooters met HC-3 sprinkler	4,6	Niet waargenomen	Nee	Nee

3 Beantwoording onderzoeksvragen

De vragen die in dit onderzoek centraal hebben gestaan, zijn de volgende:

(Elektrische) fietsen

1. Wat zijn het brandverloop, de kans op branduitbreiding en de optredende temperaturen van de beginfase van een brand in een stalling zonder aanwezigheid van een sprinklerinstallatie?
2. Wat zijn het brandverloop, de kans op branduitbreiding en de optredende temperaturen van de beginfase van een brand in een stalling met aanwezigheid van een sprinklerinstallatie?

Fatbikes

3. Wat zijn het brandverloop, de kans op branduitbreiding en de optredende temperaturen van de beginfase van een brand in een stalling zonder aanwezigheid van een sprinklerinstallatie?
4. Wat zijn het brandverloop, de kans op branduitbreiding en de optredende temperaturen van de beginfase van een brand in een stalling met aanwezigheid van een sprinklerinstallatie?

(Elektrische) scooters

5. Wat zijn het brandverloop, de kans op branduitbreiding en de optredende temperaturen van de beginfase van een brand in een stalling met aanwezigheid van een sprinklerinstallatie?

In de paragrafen hieronder zijn deze vragen beantwoord.

3.1 (Elektrische) fietsen

Er zijn twee experimenten uitgevoerd met een stallingsituatie met (elektrische) fietsen, een zonder sprinklerinstallatie en een met. In de volgende paragrafen is beschreven wat het brandverloop, de kans op branduitbreiding en de temperaturen van de beginfase van een brand in een stalling zijn.

3.1.1 Zonder aanwezigheid van een sprinklerinstallatie

Een brand in een stallingssituatie met fietsen verloopt in de eerste minuten relatief rustig. Tot 8 minuten na de start van het experiment staat één fiets in brand. Ruim 8 minuten na de start ontbranden 3 andere fietsen, en op 10 minuten na de start branden alle veertien fietsen van één rij. Twee minuten later branden alle 28 fietsen. In 4 minuten tijd breidt de brand zich dus uit van één fiets naar 28 fietsen. Er is sprake van een sterke versnelling in het brandverloop. Vanaf 8,5 minuut na start experiment vindt er thermal runaway van een of

meerdere accu's plaats. Tot het moment dat er geen beelden meer zijn (ruim 14 minuten na de start van het experiment), schieten verschillende accucellen weg en blazen meerdere accucellen af. Accucellen schieten op sommige momenten verder weg dan 2,15 meter (de breedte van een gangpad in een stalling) en hebben een nabrandduur van meer dan 10 seconden. Tijdens het experiment is verder gezien dat gasveren van het fietsparkeersysteem bezwijken en dat (delen van) de gasveren met grote kracht wegschieten.

Zowel op basis van de accucellen die wegschieten als op basis van de warmtestraling is branduitbreiding naar een andere rij aannemelijk. De maximaal gemeten temperatuur is 910 °C. Van veel thermokoppels zijn de metingen (deels) onvoldoende betrouwbaar na 9 minuten. Omdat de intensiteit van de brand nog toenam na 9 minuten, zijn de werkelijke temperaturen in de ruimte naar verwachting hoger geweest dan de hoogst gemeten temperatuur van 910 °C.

3.1.2 Met sprinklerinstallatie gevarenklasse HC-3

De brand verloopt tot activatie van de sprinkler relatief gelijk aan de situatie zonder aanwezigheid van een sprinklerinstallatie. De sprinkler activeert op 9 minuten en 40 seconden na de start van het experiment (één kop gaat open). Op dat moment branden er elf fietsen. Kort na activatie van de sprinkler bezwijkt een gasveer. Daarna bezwijken er geen gasveren meer. Na activatie van de sprinkler daalt het aantal fietsen dat brandt met de tijd. Vrijwel direct na activatie wordt de brand van drie fietsen geblust en branden er nog 8 fietsen. Zo'n tien minuten na activatie branden er nog drie fietsen, en 33 minuten na de start van het experiment (zo'n 23 minuten na activatie van de sprinkler) brandt er nog één fiets. Er zijn enkel kleine vlammetjes zichtbaar. De buitenste fietsen in het fietsparkeersysteem zijn uiteindelijk niet verbrand. Dit duidt erop dat de sprinkler in staat is om branduitbreiding in een rij gestalde fietsen te voorkomen.

Vanaf 8 minuten tot 17 minuten na de ontsteking (ruim 7 minuten na activatie van de sprinkler) vindt er thermal runaway van een of meerdere accu's plaats. Accucellen blazen hierbij af. Het wegschieten van accucellen is niet waargenomen. Een thermal runaway wordt dus niet gestopt door de sprinkler. De sprinkler zorgt er wel voor dat een brand zich niet verder uitbreidt als gevolg van de thermal runaway. De warmtestraling is tijdens dit experiment niet gemeten. Op basis van de gemeten warmtestraling bij het experiment zonder sprinklerinstallatie wordt verwacht dat branduitbreiding naar een andere rij niet aannemelijk is.

De hoogst gemeten temperatuur is 971 °C. Binnen vijf minuten na activatie van de sprinkler daalt de temperatuur vrijwel overal tot onder de 100 °C.

3.2 Fatbikes

Er zijn drie experimenten uitgevoerd met een stallingsituatie met fatbikes, een zonder sprinklerinstallatie en twee met (gevaarklasse HC-3 en HC-2). In de volgende paragrafen is beschreven wat het brandverloop, de kans op branduitbreiding en de optredende temperaturen van de beginfase van een brand in een stalling zijn.

3.2.1 Zonder aanwezigheid van een sprinklerinstallatie

De eerste vijf minuten na de start van het experiment brandt er één fatbike; 5,5 minuut na de start ontbrandt de tweede en na 7,5 minuut begint de derde fatbike mee te branden. De brand breidt zich steeds verder uit en 17,5 minuut na de start van het experiment branden alle tien fatbikes gelijktijdig. Gemiddeld breidt de brand zich ongeveer elke 1,5 minuut uit naar een andere fatbike. Na zo'n 65 minuten wordt het experiment beëindigd. De tien fatbikes zijn dan grotendeels opgebrand.

De eerste thermal runaway vindt plaats 3,5 minuut na de start van het experiment. Er zijn beelden van het experiment tot ongeveer 25 minuten. Daarna zijn de camera's uitgevallen door de hitte. Tot 25 minuten na de start vindt er een thermal runaway van een of meerdere accu's plaats. Accucellen schieten verder weg dan 2,15 meter (de breedte van een gangpad in een stalling) en hebben een nabrandduur van meer dan 10 seconden. Op basis van het wegschieten van accucellen is branduitbreiding naar een andere rij aannemelijk. Op basis van warmtestraling is dit echter niet aannemelijk. Dit geldt voor een opstelling met tien fatbikes naast elkaar. Voor opstellingen met meer dan tien fatbikes naast elkaar geldt dat branduitbreiding naar een andere rij op basis van warmtestraling mogelijk wél aannemelijk is.

De maximaal gemeten temperatuur is $> 1.200\text{ }^{\circ}\text{C}$. Het meetbereik van de thermokoppels was $1.200\text{ }^{\circ}\text{C}$. Gemeten temperaturen boven $1.200\text{ }^{\circ}\text{C}$ zijn daardoor niet betrouwbaar. De werkelijke temperaturen in de ruimte zijn naar verwachting iets hoger geweest dan $1.200\text{ }^{\circ}\text{C}$.

3.2.2 Met sprinklerinstallatie gevarenklasse HC-3

De brand verloopt tot activatie van de sprinkler relatief gelijk aan de situatie zonder sprinkler. De sprinkler activeert na 8 minuten en 26 seconden (één kop gaat open). Op dat moment branden er drie fatbikes. De fatbike die als eerste ontstoken is, wordt binnen één minuut na activatie van de sprinkler geblust. De twee naastgelegen fatbikes blijven nog branden. De thermal runaways lijken kort na activatie van de sprinkler gestopt, maar van een van de naastgelegen fatbikes komt de accu onder het zadel 29 minuten na de start van het experiment toch in thermal runaway (20,5 minuut na activatie van de sprinkler). Deze thermal runaway houdt zo'n 8 minuten aan. Accucellen blazen hierbij af. Het wegschieten van accucellen is niet waargenomen. Een thermal runaway wordt dus niet gestopt door de sprinkler. De sprinkler zorgt er wél voor dat een brand zich niet verder uitbreidt als gevolg van een thermal runaway.

Op basis van de gemeten warmtestraling of het wegschieten van accucellen is branduitbreiding naar een andere rij niet aannemelijk. De hoogst gemeten temperatuur is $589\text{ }^{\circ}\text{C}$. Binnen twee minuten na activatie sprinkler daalt de temperatuur op alle meetpunten tot onder de $100\text{ }^{\circ}\text{C}$.

3.2.3 Met sprinklerinstallatie gevarenklasse HC-2

De brand verloopt tot activatie van de sprinkler relatief gelijk aan de situatie zonder sprinkler. De eerste sprinklerkop activeert na 9 minuten en 51 seconden. Op dat moment branden er drie fatbikes. 5 seconden na de eerste sprinklerkop activeert ook een tweede sprinklerkop. 6 minuten na de activatie van de sprinkler brandt er nog één fiets. 14,5 minuut na de start van het experiment (4,5 minuut na activatie van de sprinkler) komt van één fatbike de accu onder het zadel in thermal runaway. 22 minuten na de start van het experiment komt de accu in het frame van deze fatbike ook in thermal runaway. Deze thermal runaways gaan door tot 35

minuten na de start van het experiment. Een halve minuut later worden de laatste vlammen gedoofd door de sprinkler en is de brand uit.

Tijdens de thermal runaway blazen accucellen af en schieten cellen weg, ook na activatie van de sprinkler. Een thermal runaway wordt dus niet gestopt door de sprinkler. De sprinkler zorgt er wél voor dat een brand zich niet verder uitbreidt als gevolg van een thermal runaway.

Op basis van de gemeten warmtestraling of het wegschieten van accucellen is branduitbreiding naar een andere rij niet aannemelijk. De hoogst gemeten temperatuur is 754 °C. Binnen twee minuten na activatie sprinkler daalt de temperatuur op alle meetpunten tot onder de 100 °C.

3.3 Scooters met sprinkler gevarenklasse HC-3

Er is één experiment uitgevoerd met een stallingsituatie met (elektrische) scooters. Tijdens dit experiment was er een sprinklerinstallatie met gevarenklasse HC-3 aanwezig. Hieronder is beschreven wat het brandverloop, de kans op branduitbreiding en de optredende temperaturen van de beginfase van een brand in een stalling zijn.

De sprinkler wordt geactiveerd op 4 minuten en 10 seconden na ontsteking van een benzinescooter (één kop gaat open). Op dat moment brandt de voorzijde van één scooter volledig en daarnaast deels de buddyseat. Twee naastgelegen elektrische scooters zijn flink aan het pyrolyseren (uitgassen). Op basis van beelden is niet met zekerheid te stellen of deze twee naastgelegen scooters branden op het moment van activatie van de sprinkler. Na activatie van de sprinkler komt er benzine vrij uit de tank van de scooter die brandt. Er ontstaat een plasbrand die na één minuut is opgebrand. 5 minuten na de activatie van de sprinkler laait de brand weer tijdelijk op. De brand bevindt zich dan onder de buddyseat buiten het bereik van het water uit de sprinkler. Daarna wordt de brand langzaam kleiner. Zo'n 30,5 minuut na de start van het experiment is de brand nagenoeg uit en wordt het experiment beëindigd. Er is één scooter voor een groot deel verbrand. Vijf andere scooters hebben schade opgelopen.

Tijdens het experiment is er geen accu in thermal runaway gekomen en zijn geen accucellen weggeschoten. Op basis van de gemeten warmtestraling is branduitbreiding naar een andere rij niet aannemelijk. De hoogst gemeten temperatuur is 742 °C. Binnen vijf minuten na activatie van de sprinkler daalt de temperatuur op vrijwel alle meetpunten tot onder de 100 °C.

3.4 Overkoepelende samenvatting

In tabel 3.1 hieronder is een overkoepelende samenvatting van de resultaten weergegeven.

Tabel 3.1 Overkoepelende samenvatting resultaten

Experiment	Brandverloop	Branduitbreiding naar andere rij	Temperatuur
50 % elektrische fietsen zonder sprinkler	Tot 8 minuten na start experiment één fiets. 12 minuten na start experiment branden alle 28 fietsen. Sterke versnelling brandverloop	Aannemelijk (op basis van wegschietende accucellen en warmtestraling)	Hoogst gemeten temperatuur is 910 °C. Werkelijke temperaturen zijn naar verwachting hoger geweest.
100 % elektrische fietsen sprinkler HC-3	Sprinkler activeert 9:40 min na start experiment. Er branden dan 11 fietsen. 10 minuten na activatie sprinkler branden er nog 3 fietsen. 23 minuten na activatie sprinkler is de brand nagenoeg uit.	Niet aannemelijk	Hoogst gemeten temperatuur is 971 °C. Vijf minuten na activatie sprinkler is de temperatuur op vrijwel alle meetpunten lager dan 100 °C.
Fatbikes zonder sprinkler	Tot 5 minuten na start experiment één fatbike. 17,5 minuten na start experiment branden alle 10 fatbikes. Gemiddeld elke 1,5 minuut branduitbreiding naar een andere fatbike	Aannemelijk op basis van wegschietende accucellen, niet aannemelijk op basis van warmtestraling (bij een groter aantal fatbikes dat brandt mogelijk wel)	Hoogst gemeten temperatuur is > 1.200 °C (buiten meetbereik thermokoppels). Werkelijke temperaturen zijn naar verwachting iets hoger geweest.
Fatbikes met sprinkler (HC-2 en HC-3)	Sprinkler activeert 8,5 minuut na start experiment (HC-3, 1 kop open) of bijna 10 minuten na start experiment (HC-2, 2 koppen open). Er branden dan drie fatbikes. 46,5 minuut (HC-3) en 35,5 minuut (HC-2) na start experiment is de brand (nagenoeg) uit.	Niet aannemelijk	De hoogste temperatuur voor activatie is 589 °C (HC-3) of 754 °C (HC-2). Na activatie daalt de temperatuur binnen 2 minuten overal tot minder dan 100 °C.
Scooters sprinkler HC-3	Sprinkler activeert 4:10 min na start experiment. Er brandt dan één scooter. Twee andere scooters zijn aan het uitgassen. 30,5 minuut na start experiment is de brand nagenoeg uit.	Niet aannemelijk	Hoogst gemeten temperatuur is 742 °C. Vijf minuten na activatie sprinkler is de temperatuur op vrijwel alle meetpunten lager dan 100 °C.

4 Discussie

Bij data uit praktijkexperimenten moet altijd kritisch gekeken worden of de experimentele opzet leidt tot bruikbare resultaten en of deze resultaten representatief zijn voor praktijk-situaties. Of dit het geval is, is bekeken in dit hoofdstuk.

4.1 De opzet van de experimenten

4.1.1 Beginfase van de brand

Doel van deze experimenten was het bepalen van het brandverloop, de kans op branduitbreiding naar een andere rij en de optredende temperaturen van de beginfase van een brand in een stalling met (elektrische) fietsen, fatbikes en scooters, al dan niet voorzien van een sprinklerinstallatie. Er is bewust gekozen voor een focus op de *beginfase* van een brand. Juist voor deze fase zijn namelijk nog maatregelen te nemen die de brand kunnen beheersen en de gevolgen ervan beperkt kunnen houden. De focus op de beginfase betekent dat de resultaten weinig tot niets kunnen zeggen over de flashover- of post-flashoverfase van een brand. Zo zijn er bijvoorbeeld geen exacte gegevens van de temperaturen waaraan een constructie of brandwerende scheiding na de beginfase van een brand wordt blootgesteld. Uit de experimenten is wel een algemeen beeld verkregen over de temperaturen die zich kunnen voordoen tijdens een brand in de stalling. De resultaten geven verder een goed beeld van het brandverloop van een brand in de beginfase en de effectiviteit van een sprinklerinstallatie in het beheersen van een beginnende brand in een stalling.

4.1.2 Reële worst-case-benadering

Er is gekozen voor een reële worst-case-benadering. Dit betekent dat de experimentele opzet zodanig is geweest, dat het brandverloop, de kans op branduitbreiding naar een andere rij en de optredende temperaturen kritisch zijn. Situaties in de praktijk zullen voor deze zaken veelal minder kritisch of even kritisch zijn. De gebruikte fietsen en scooters zijn dezelfde als in de eerdere experimenten (Wolfs & Van Liempd, 2025); deze fietsen en scooters zijn als reële worst-case fietsen of scooters te zien ten opzichte van de op de markt te verkrijgen fietsen en scooters. De fatbikes zijn niet eerder gebruikt in experimenten; het exacte brandgedrag van verschillende soorten is daardoor niet bekend. Op basis van een marktverkenning is gekozen voor een model met relatief veel brandbare (kunststof) onderdelen en een hoge accucapaciteit. Dit model wordt daarom gezien als een reële worst-case keuze voor wat betreft het brandgedrag. Er is tijdens de experimenten gewerkt met nieuwe fietsen, fatbikes of scooters waarvan alle onderdelen nog aanwezig zijn. Ook is er gewerkt met accu's die volledig waren opgeladen of volle benzinetanks hadden. In praktijksituaties zal dit hoogstens even kritisch zijn. In veel gevallen zal een benzinetank namelijk niet volledig vol zitten, is de accu niet volledig opgeladen en zitten (een aantal van) de brandbare onderdelen soms niet meer op een fiets, fatbike of scooter.

Voor de stallingssituatie is uitgegaan van situaties zoals ze bij ProRail voor kunnen komen. Voor de fietsen geldt dat is gekozen voor een stallingssituatie waarbij alle plekken bezet zijn,

de kleinste hart of hart afstand die voorkomt (37,5 cm) en een fietsparkeersysteem met de meeste kunststof onderdelen. Bij het experiment met sprinkler zijn op alle stallingsplekken elektrische fietsen geplaatst. Bij het experiment zonder sprinkler zijn op de onderste stallingslaag elektrische fietsen en op de bovenste stallingslaag niet-elektrische fietsen geplaatst. Bij beide experimenten is de brand ontstoken bij een elektrische fiets met kinderzitje. Bij dit type fiets waren het hoogste piek brandvermogen en de snelste tijd voor branduitbreiding naar een andere fiets verkregen in de experimenten in fase 1. Het ontsteken van de brand met een elektrische fiets met kinderzitje wordt daarom gezien als worst-case situatie voor de start van de brand. De stallingssituatie met sprinkler zal ten opzichte van eigenlijk alle praktijksituaties in een stalling (waar lege plekken kunnen voorkomen of ook niet-elektrische fietsen gestald zijn) naar verwachting een sneller of minstens even snelle branduitbreiding kennen. Enkel toekomstige ontwikkelingen in bijvoorbeeld een grotere accucapaciteit van fietsaccu's of extra fietsen die tussen stalplaatsen 'gepropt' zijn zouden eventueel een nog snellere branduitbreiding kunnen geven. Voor de stallingssituatie zonder sprinkler geldt dat een nog snellere branduitbreiding te verwachten is wanneer in de bovenste stallingslaag ook elektrische fietsen staan of meer accessoires zoals kinderzitjes en fietstassen aanwezig zijn dan tijdens het experiment (één kinderzitje en vier fietstassen). In veel praktijksituaties is een tragere branduitbreiding te verwachten en zal het brandverloop veelal minder hevig gaan vanwege bijvoorbeeld lege plekken in de stalling, een brand die begint in een fiets zonder kinderzitje, een lagere accucapaciteit, geen 100 % state of charge en oudere fietsen waar minder brandbare onderdelen op aanwezig zijn.

Voor de fatbikes en scooters is gewerkt met onderlinge afstanden zoals ze in de stallingen van ProRail voorkomen en alle plekken bezet. De testruimte is daarnaast voorzien van een plafond op de laagste hoogte waarbij plafonds in de stallingen van ProRail voorkomen (2,75 meter). Wanneer er lege plekken zijn of fatbikes of scooters geplaatst worden die minder hard branden, zal de brand zich naar verwachting minder snel uitbreiden dan nu in de experimenten gezien is. Wanneer daarentegen de onderlinge afstand in de praktijk kleiner is, zal de branduitbreiding naar verwachting sneller gaan in de situaties zonder sprinkler. Wanneer een sprinklerinstallatie aanwezig is, dan heeft kleinere onderlinge afstand naar verwachting geen sterke invloed op het algehele brandverloop. Er kunnen mogelijk meer fatbikes of scooters betrokken zijn op het moment dat de sprinkler geactiveerd wordt, maar de sprinkler zal dan naar verwachting nog steeds kan zorgen dat de brand niet uitbreidt naar andere fatbikes of scooters. Dit wordt verwacht, omdat in de experimenten is gezien dat de sprinkler in staat is om na activatie branduitbreiding naar andere fatbikes of scooters te voorkomen. Bovendien heeft de sprinkler een voldoende groot sproeioppervlak om nog niet brandende fatbikes of scooters te koelen en ontbranding te voorkomen, óók wanneer er meer fatbikes of scooters branden.

Over het geheel zijn de onderzoekers van mening dat met de keuze voor de stallings-situaties de werkelijkheid goed benaderd is voor wat betreft de fietsenstallingen van ProRail. Voor wat betreft de gebruikte soorten fietsen, fatbikes en scooters en de wijze waarop deze zijn toegepast tijdens de experimenten (volledig opgeladen, volle benzinetank, nieuw en met alle onderdelen aanwezig) is dit een reële worst-case-afspiegeling voor het brandverloop, de kans op branduitbreiding naar een andere rij en de optredende temperaturen. De gespecificeerde parameters zitten aan de veilige (conservatieve) kant: in de praktijk zal het brandverloop veelal minder hevig zijn vanwege bijvoorbeeld lege plekken in de stalling, een

lagere accucapaciteit, geen 100 % state of charge en oudere fietsen of kleinere scooters of fatbikes waar minder brandbare onderdelen op aanwezig zijn.

4.1.3 Overige gemaakte keuzes

De gebruikte testruimte is kleiner dan de ruimtes die normaliter als stalling gebruikt worden bij ProRail (200 - > 5.000 m²). Door te voorzien in voldoende toevoer van zuurstof en afvoer van rook en warmte zal de situatie in de testruimte overeenkomstig zijn met die in een grotere stalling voor de beginfase van een brand. De resultaten zijn wat dat betreft dus hoogstwaarschijnlijk representatief voor de werkelijkheid.

Het brandlab heeft de thermokoppels bevestigd door ze om een stalen draad te wikkelen en vast te plakken met behulp van aluminium tape. Na afloop van een aantal experimenten zaten meerdere thermokoppels niet meer op hun plek. Daarnaast waren vanwege de keuze voor niet-hittebestendige camera's geen beelden beschikbaar van de volledige experimenten. Hierdoor is niet duidelijk tot welk moment de thermokoppels nog op de juiste plek zaten. Betrouwbare data van de temperatuur ontbreken daardoor voor een aantal experimenten. De betekenis hiervan voor het onderzoek is beschreven in paragraaf 4.2 hieronder.

Er is één experiment per opzet uitgevoerd. Wanneer meerdere experimenten met dezelfde opzet zouden zijn uitgevoerd, zou altijd enige mate van spreiding in resultaten te zien zijn geweest. Momenten in een brandverloop zijn namelijk vaak bepalend voor het verdere verloop. Tijdens de experimenten met fietsen is de brand bijvoorbeeld uitgebreid door het vallen van brandende delen van een fietstas. Was het experiment nogmaals op dezelfde wijze uitgevoerd, dan waren er wellicht geen brandende delen van de fietstas gevallen of waren de brandende delen op een andere plek terechtgekomen. Het verdere verloop van de brand zou dan anders geweest zijn. Ook in dat geval zou de brand zich echter verder uitgebreid hebben, maar mogelijk met een iets andere volgorde waarin de fietsen gingen branden of een ander tempo. Het beeld op hoofdlijnen zou naar de mening van de onderzoekers echter niet veranderen. Ook dan zou er een versnelling in het brandverloop te zien zijn geweest en zouden alle fietsen uiteindelijk gelijktijdig gebrand hebben. Een ander voorbeeld op dit vlak is het omvallen van een fatbike tijdens het experiment. Dit zou bij het herhalen van het experiment niet of op een ander moment hebben kunnen gebeuren. Dit zou op onderdelen een andere branduitbreiding naar andere fatbikes kunnen geven. Maar ook hier geldt dat het naar de mening van de onderzoekers niet zou uitmaken voor de hoeveelheid fatbikes die uiteindelijk gelijktijdig in brand zouden staan.

De keuze voor de ontstekingsbron (onder de accu met een externe brandlast) is gemaakt om een redelijk voorspelbare start van de brand te verkrijgen. Wanneer gekozen zou zijn voor bijvoorbeeld het overladen van een accu, zou een grotere spreiding in de start van de brand te verwachten zijn. Wanneer een accu als gevolg van overladen in thermal runaway komt, kan dit mogelijk zorgen voor een snellere brandontwikkeling bij de eerste fiets of fatbike dan in deze experimenten is gezien.

De kans op branduitbreiding naar een andere rij is op basis van gemeten waarden en een (theoretische) redenering ingeschat, en derhalve niet beproefd. Hierbij is dezelfde methode gebruikt als bij de eerdere experimenten (Wolfs & Van Liempd, 2025). De kans op branduitbreiding en de snelheid daarvan uit deze eerdere experimenten zijn vergeleken met

de snelheid van branduitbreiding in de experimenten op stalling-schaal. Hieruit is gebleken dat de theoretische redenering betrouwbare resultaten geeft.

4.2 Het experimentverloop

Zoals bij veel experimenten, zijn er afwijkingen in het verloop geweest ten opzichte van de voorgenomen situatie. Bij de experimenten uit dit onderzoek ontbreekt een belangrijk deel van de temperatuur tijdens het experiment. Met name tijdens de experimenten zonder sprinkler, waarbij hoge temperaturen waarschijnlijk zijn, zijn de meetdata van de temperatuur grotendeels onbetrouwbaar. Dit betekent dat in fase 3 van het onderzoek minder goed vastgesteld kan worden welke thermische blootstelling constructie- en bouwdelen moeten kunnen weerstaan.

Daarnaast zijn er minder experimenten uitgevoerd met stallingssituaties voor fietsen dan oorspronkelijk gepland. Hierdoor is geen inzicht verkregen in een stallingssituatie waarbij het brandverloop wellicht gematigder zou verlopen dan nu is gezien in de situatie zonder sprinkler. Er is daarnaast geen experiment uitgevoerd met gevarenklasse HC-2 van de sprinklerinstallatie. Dit betekent dat er geen inzicht is verkregen in de effectiviteit van een sprinkler gevarenklasse HC-2 voor het beheersen van de brand in de beginfase. Dit wil zeggen dat er enkel bewijs is dat met een sprinkler gevarenklasse HC-3 de brand in een vroegtijdig stadium beheerst kan worden. Een sprinkler met gevarenklasse HC-3 heeft meer water nodig dan een met gevarenklasse HC-2. Hiervoor zijn dikkere leidingen, een grotere watervoorraad en een grotere pomp nodig, wat de installatie duurder maakt, een grotere constructieve belasting kan geven en meer ruimte vraagt voor de watervoorziening.

Literatuurlijst

- Hessels, T., & Brans, H. (2024). *Brandexperiment over de inzet van ultrahogedruk snij- en blussystemen bij branden in batterijen van elektrische voertuigen*. NIPV.
<https://nipv.nl/nieuws/uhd-blussysteem-onder-voorwaarden-geschikt-om-batterijen-van-elektrische-voertuigen-te-blussen/>
- 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*.
- Wolfs, L., & Van Liempd, R. (2025). *Brandexperimenten (elektrische) fietsen en (elektrische) scooters*. NIPV.

Bijlage 1 Beschrijving testobjecten

In deze bijlage zijn de testobjecten beschreven.

Testobject A: Niet-elektrische fiets zonder accessoires

De fiets heeft een framemaat van 61 cm. De volgende onderdelen zijn (deels) brandbaar:

- > binnen- en buitenband incl. ventiel
- > diverse bevestigingsmiddelen
- > diverse kabels
- > handvatten
- > kettingkast
- > lampen / reflectors
- > remblokken
- > trappers
- > zadel.

Testobject B: Niet-elektrische fiets met dubbele fietstas

Testobject B is gelijk aan testobject A, met als enige verschil dat er op testobject B een fietstas aanwezig is. Het gaat om een dubbele fietstas met daarin aan de ene zijde een regenpak en aan de andere zijde kleren. Zowel de fietstas als de inhoud is brandbaar.

Testobject D: Elektrische fiets zonder accessoires

De fiets heeft een framemaat van 61 cm. De volgende onderdelen zijn (deels) brandbaar:

- > accu en omhulsel
- > binnen- en buitenband incl. ventiel
- > diverse bevestigingsmiddelen
- > diverse kabels
- > handvatten
- > kettingkast
- > lampen / reflectors
- > remblokken
- > trappers
- > zadel
- > standaard
- > bel
- > display.

De accu heeft een accucapaciteit van 500 Wh. Het betreft een li-ion accu. Deze is geplaatst onder de bagagedrager.

Testobject E: Elektrische fiets met dubbele fietstas

Testobject E is gelijk aan testobject D, met als enige verschil dat er op testobject E een fietstas aanwezig is. Het gaat om een dubbele fietstas met daarin aan de ene zijde een regenpak en aan de andere zijde kleren. Zowel de fietstas als de inhoud is brandbaar.

Testobject F: Elektrische fiets met kinderzitje

Testobject F is gelijk aan testobject D, met als enige verschil dat er op testobject F een kinderzitje aanwezig is. Het kinderzitje is geplaatst op de bagagedrager en is grotendeels van kunststof.

Testobject: Fatbike

De volgende onderdelen van de fatbike zijn (deels) brandbaar:

- > zadel en buddy seat
- > accu en omhulsel
- > banden
- > spatborden
- > kettingkast
- > spiegels
- > handvatten
- > display
- > lampen
- > diverse kabels en connectoren
- > kappen motor en aandrijflijn.

Testobject I: Benzinescooter

De volgende onderdelen van de scooter zijn (deels) brandbaar:

- > zadel / buddyseat
- > banden
- > kappen
- > spiegels
- > handvatten
- > display
- > lampen
- > spatborden
- > diverse kabels en connectoren
- > kappen motor en aandrijflijn.

De benzinetank is van staal en heeft een inhoud van 6,2 liter Euro 95. De tank zit bij de onderplaat.

Testobject N: High-end model elektrische scooter met windscherm en topkoffer

De volgende onderdelen van de scooter zijn (deels) brandbaar:

- > zadel / buddyseat
- > banden
- > kappen
- > accu en omhulsel
- > spiegels
- > handvatten
- > display
- > lampen
- > spatborden
- > diverse kabels en connectoren
- > windscherm

> topkoffer met helm.

De accu heeft een accucapaciteit van 5600 Wh. Het betreft een li-ion accu. Deze is geplaatst onder de buddyseat.

Bijlage 2 Locatie ontstekingsbron

In onderstaande tabel is met een rood bolletje de locatie van de ontstekingsbron aangegeven voor de verschillende testobjecten.

Testobject	Plaats ontstekingsbron
F: Elektrische fiets met kinderzitje	
Fatbike	
I: Benzinescooter	

Bijlage 3 Resultaten experimenten

In deze bijlage zijn de meetdata van temperatuur, straling en indien toegepast de sprinkler van de verschillende experimenten weergegeven.

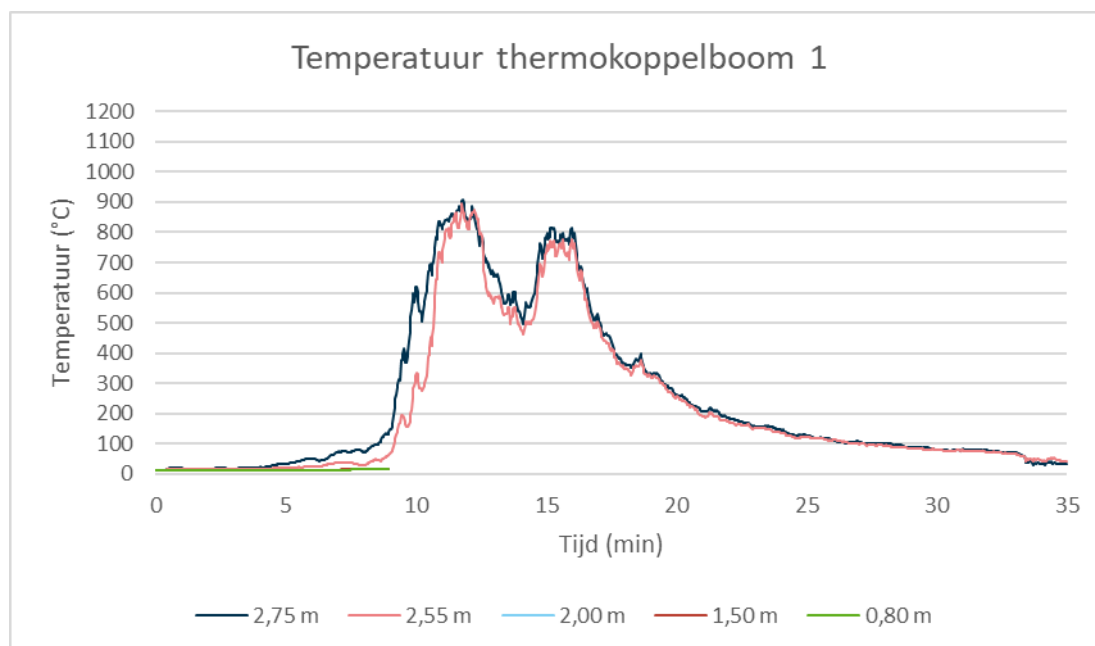
50 % elektrische fietsen zonder sprinkler

Bijzonderheden ten aanzien van de meetdata in de grafieken

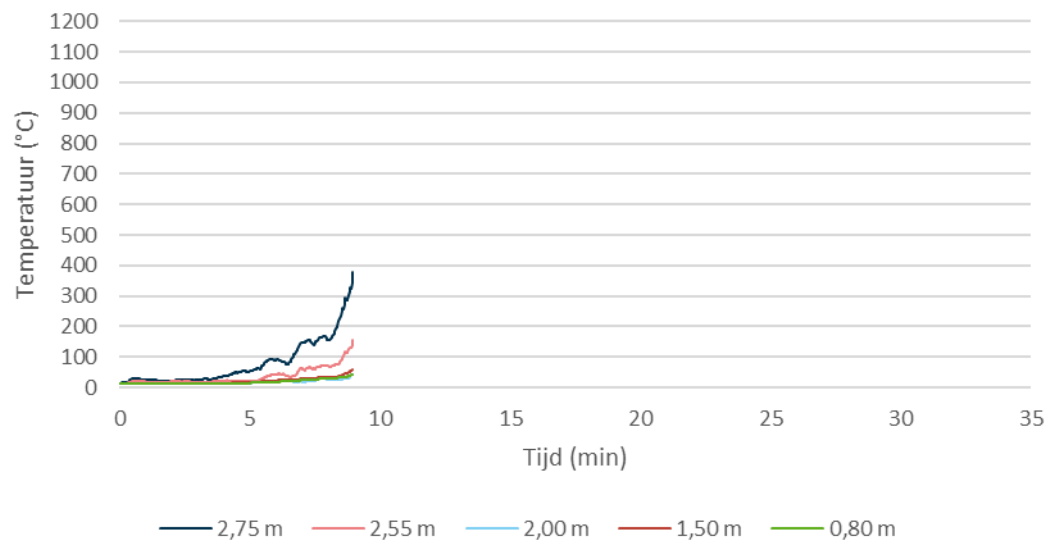
Na het experiment zaten vrijwel alle thermokoppels niet meer op hun plek. Enkel de thermokoppels op 2,55 en 2,75 meter bij thermokoppelbomen 1 en 8 waren niet verplaatst. Op basis van videobeelden is door het brandlab bepaald dat de thermokoppels tot 9 minuten nog op hun plek zaten. Na 9 minuten is de beeldkwaliteit onvoldoende om een uitspraak te doen over de plaats van de thermokoppels. Omdat niet duidelijk is vanaf welk moment de thermokoppels niet meer op de juiste plek meten, zijn de betreffende metingen na 9 minuten als onvoldoende betrouwbaar bestempeld.

Op ongeveer 15,5 minuut na de start van de brand zijn stralingsmeters 2 (linkerzijde) en 3 (achterzijde) uitgevallen.

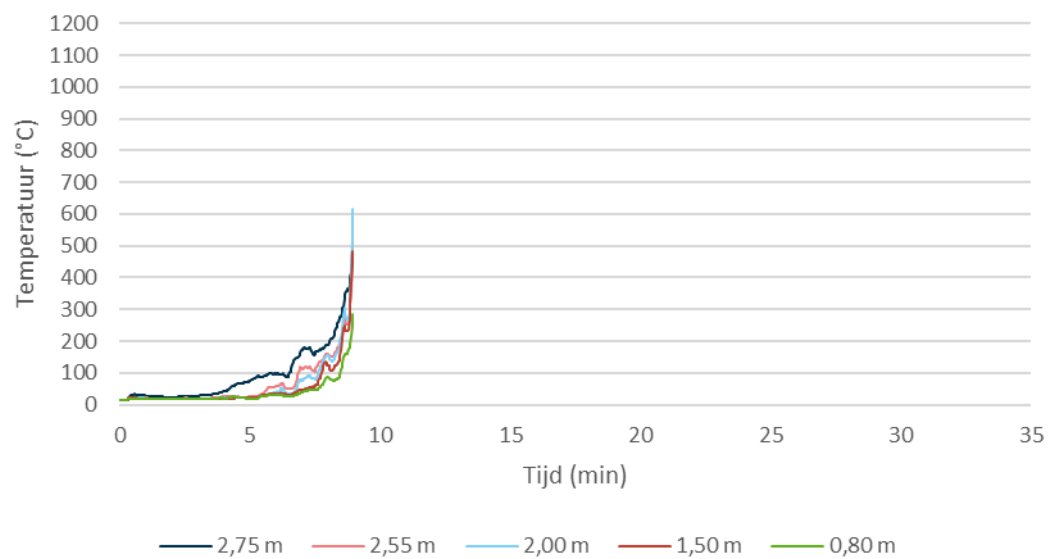
Meetdata die als onvoldoende betrouwbaar zijn bestempeld of waarvan de meetapparatuur is uitgevallen, zijn weggelaten uit de grafieken.



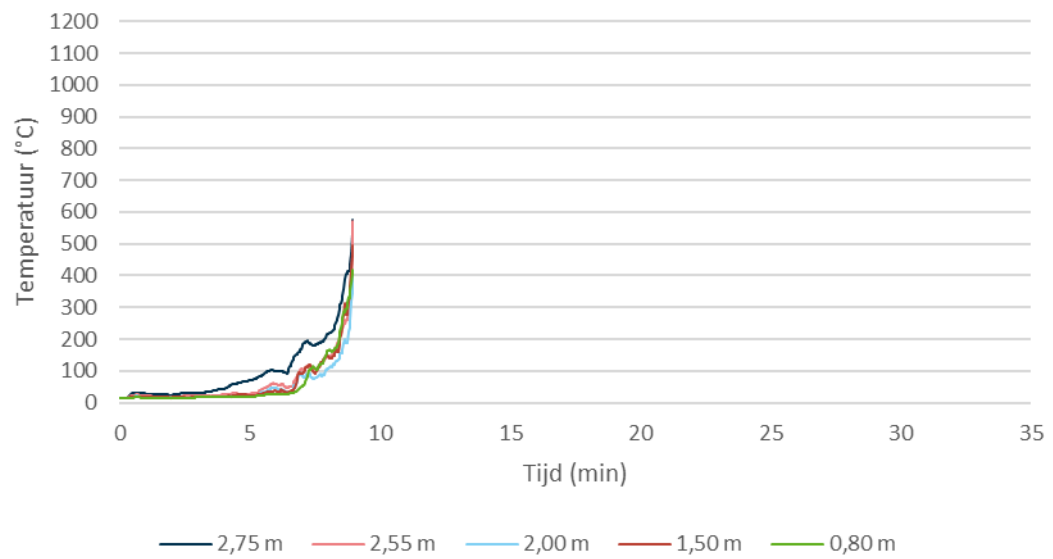
Temperatuur thermokoppelboom 2



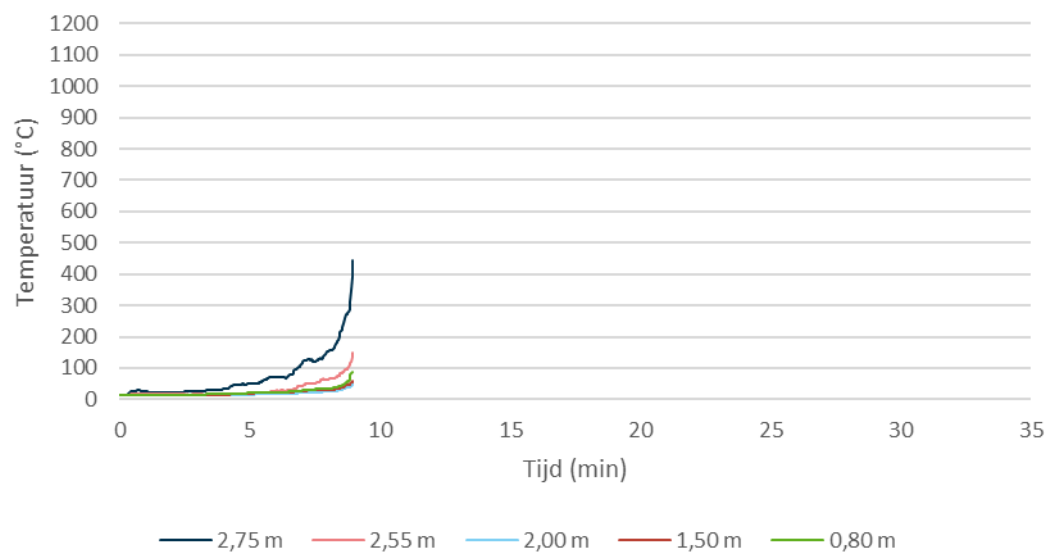
Temperatuur thermokoppelboom 3

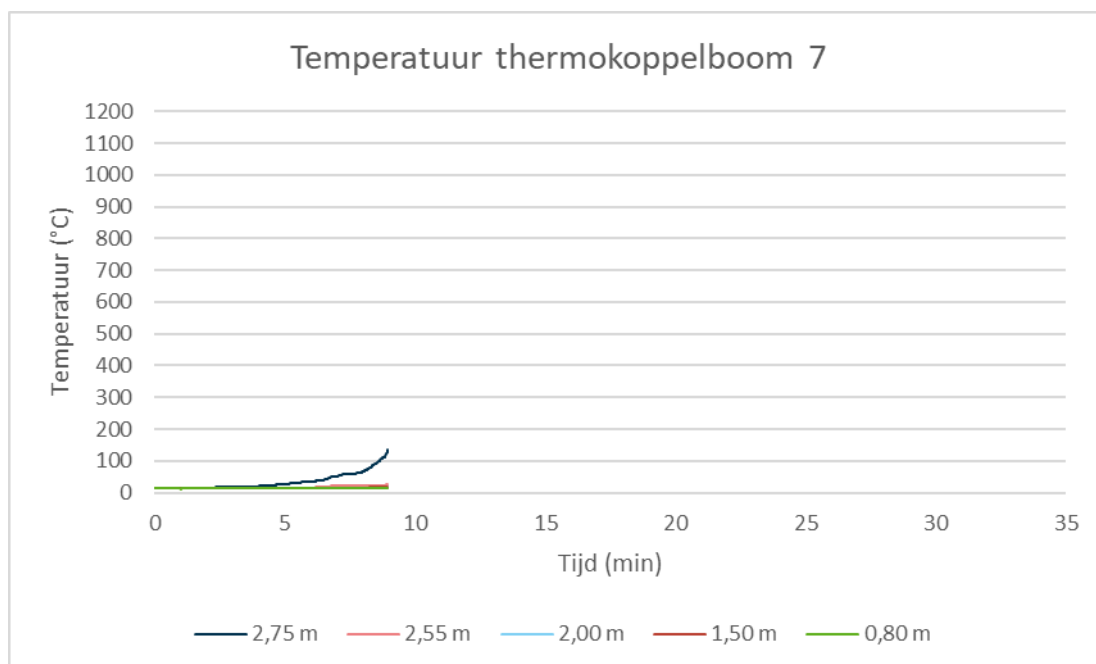
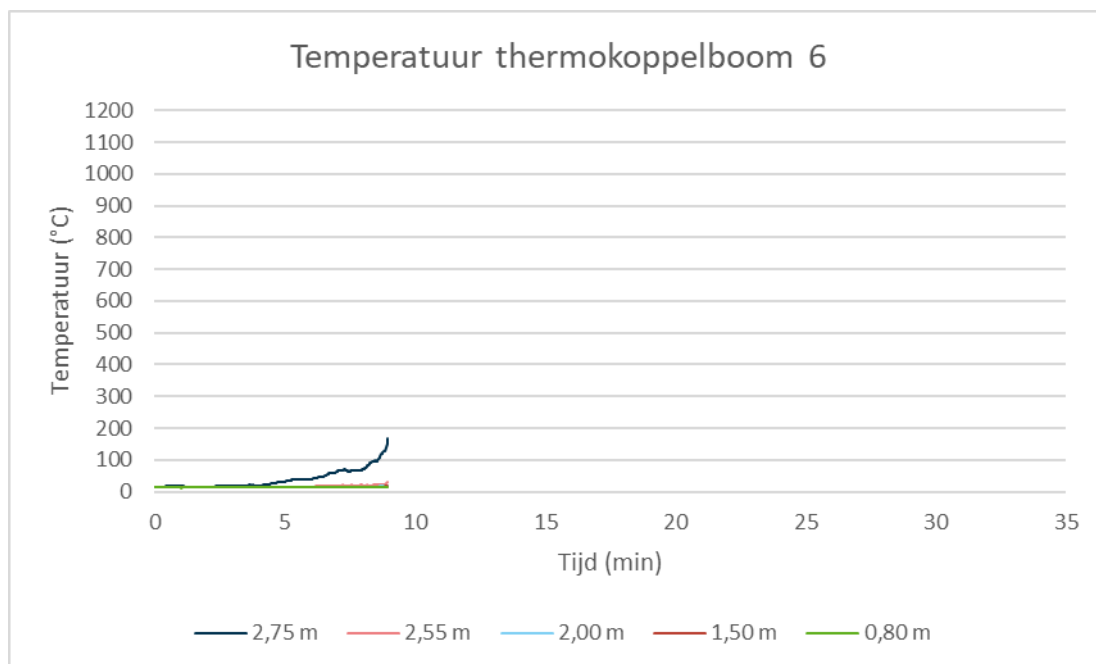


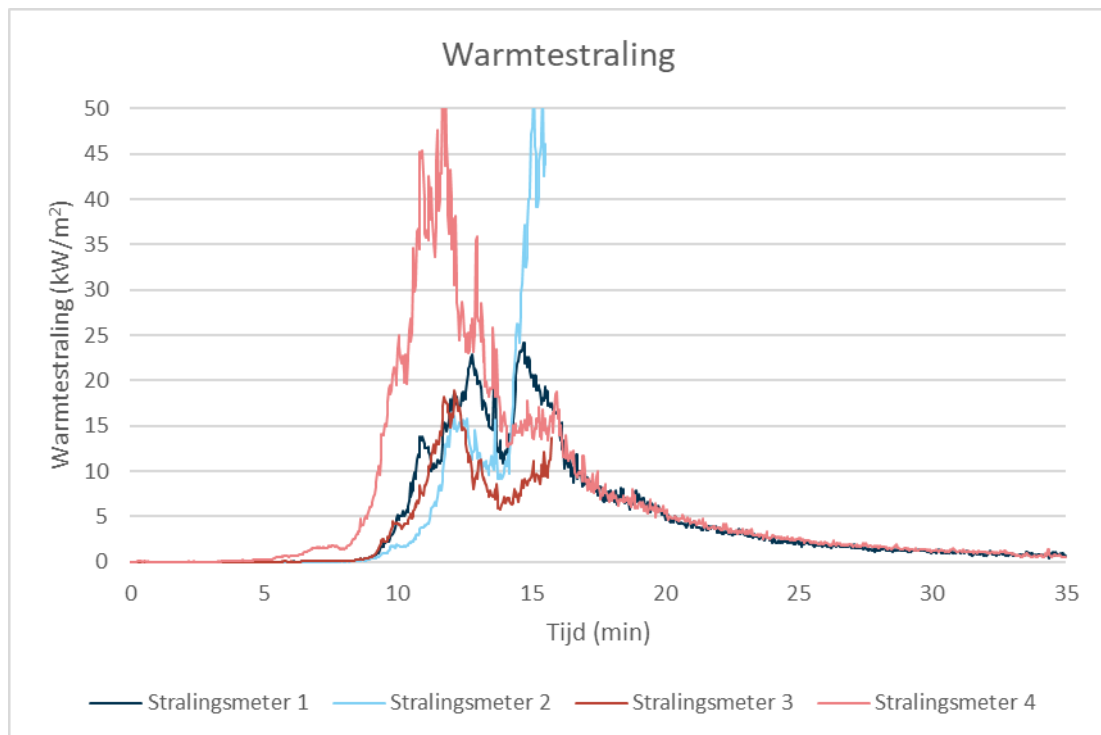
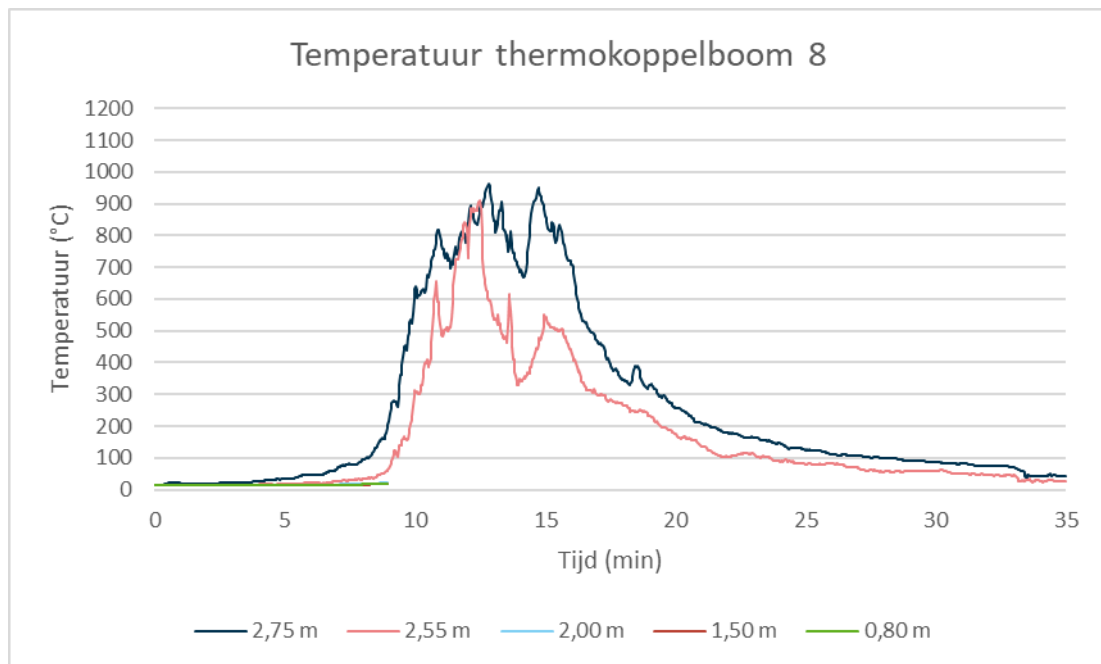
Temperatuur thermokoppelboom 4



Temperatuur thermokoppelboom 5







100 % elektrische fietsen met sprinkler gevarenklasse HC-3

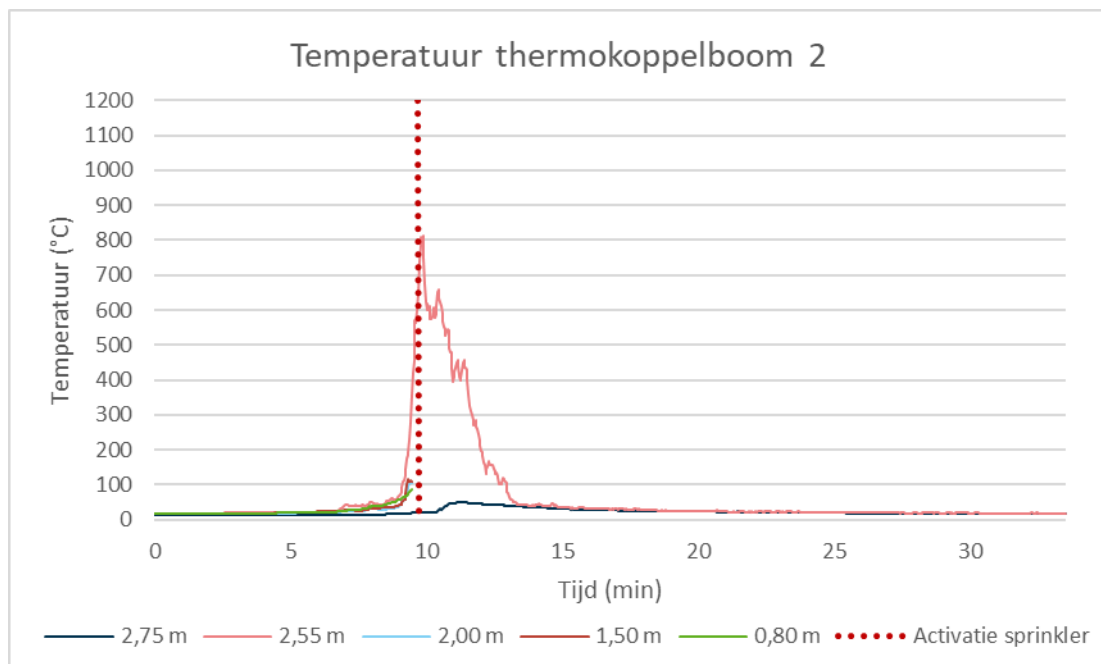
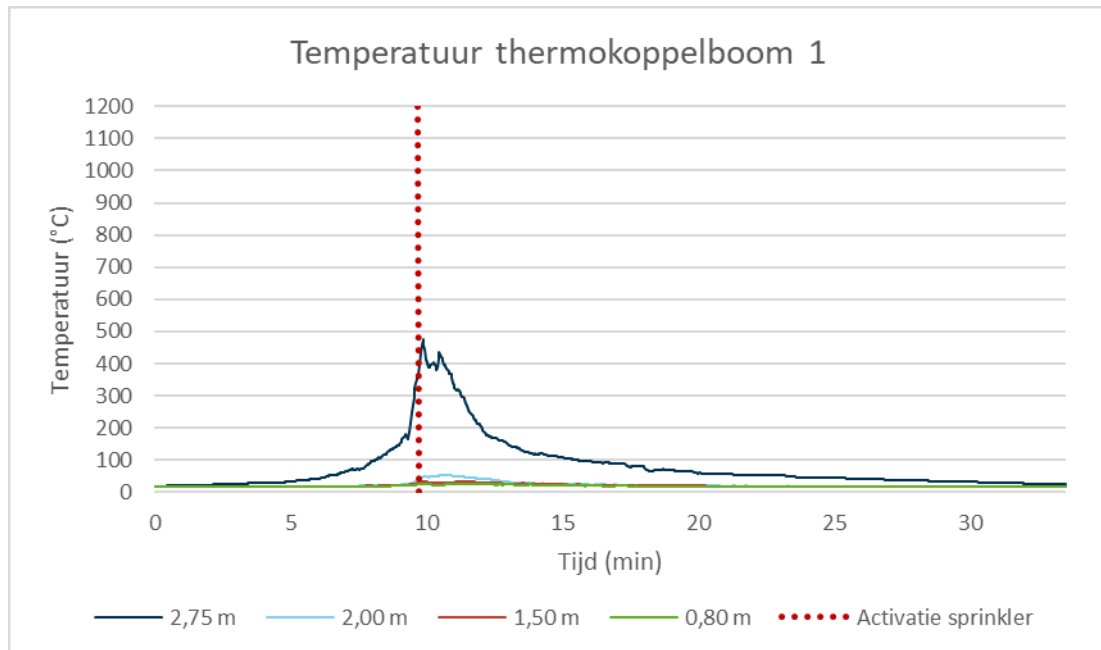
Bijzonderheden ten aanzien van de meetdata in de grafieken

Er is gekozen om de stralingsmeters niet op te stellen tijdens dit experiment, vanwege de verwachte brandintensiteit op basis van het experiment met 50 % elektrische fietsen, en omdat er anders geen vervangende stralingsmeters meer beschikbaar zouden zijn voor volgende experimenten.

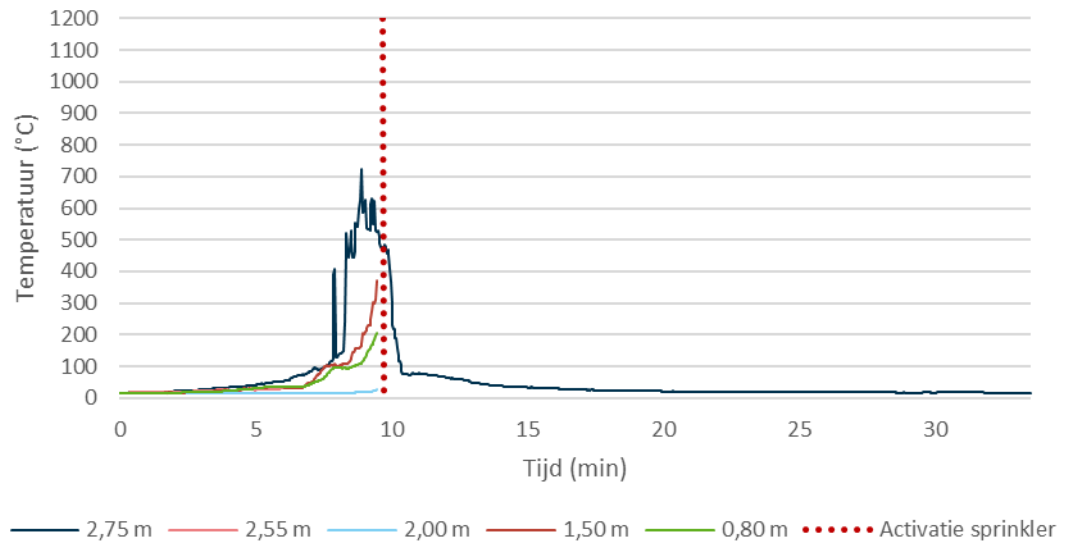
De temperatuurmetingen van boom 1 hoogte 2,55 meter, boom 4 hoogte 2,75 meter, boom 6 hoogte 1,5 meter en boom 7 hoogtes 2 en 2,55 meter zijn niet betrouwbaar gedurende het

gehele experiment. De temperatuurmetingen van boom 3 hoogte 2,55 meter zijn niet betrouwbaar na 6 minuten.

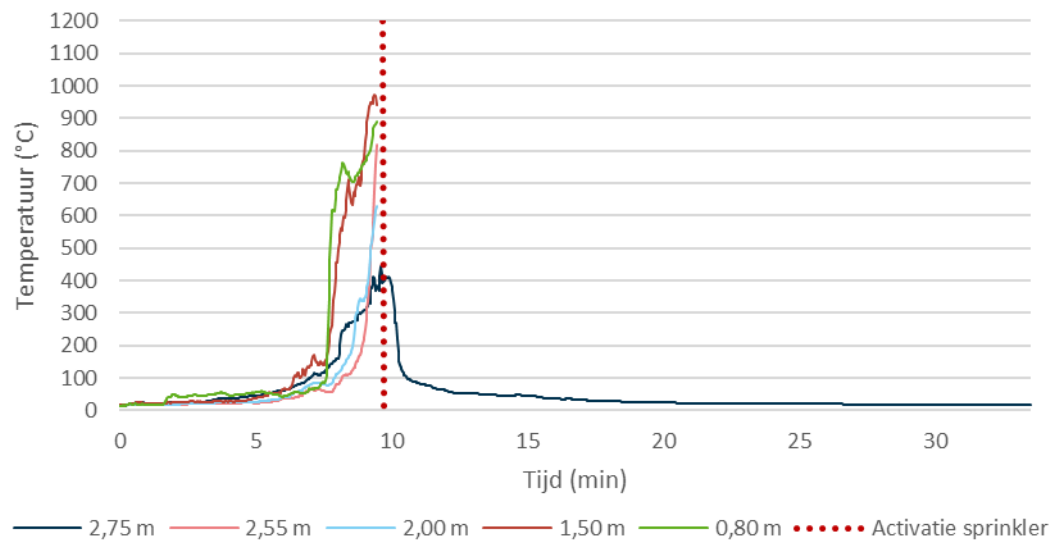
Na het experiment zaten meerdere thermokoppels niet meer op hun plek. Dit betreft de thermokoppels bij boom 2 en 3 hoogtes 0,8, 1,5 en 2 meter en boom 4 en 5 hoogtes 0,8, 1,5, 2 en 2,55 meter. Op basis van videobeelden is door het brandlab bepaald dat de thermokoppels tot 9,5 minuut nog op hun plek zaten. Na 9,5 minuut is de beeldkwaliteit onvoldoende om een uitspraak te doen over de plaats van de thermokoppels. Omdat niet duidelijk is vanaf welk moment de thermokoppels niet meer op de juiste plek meten, zijn de betreffende metingen na 9,5 minuut als onvoldoende betrouwbaar bestempeld.

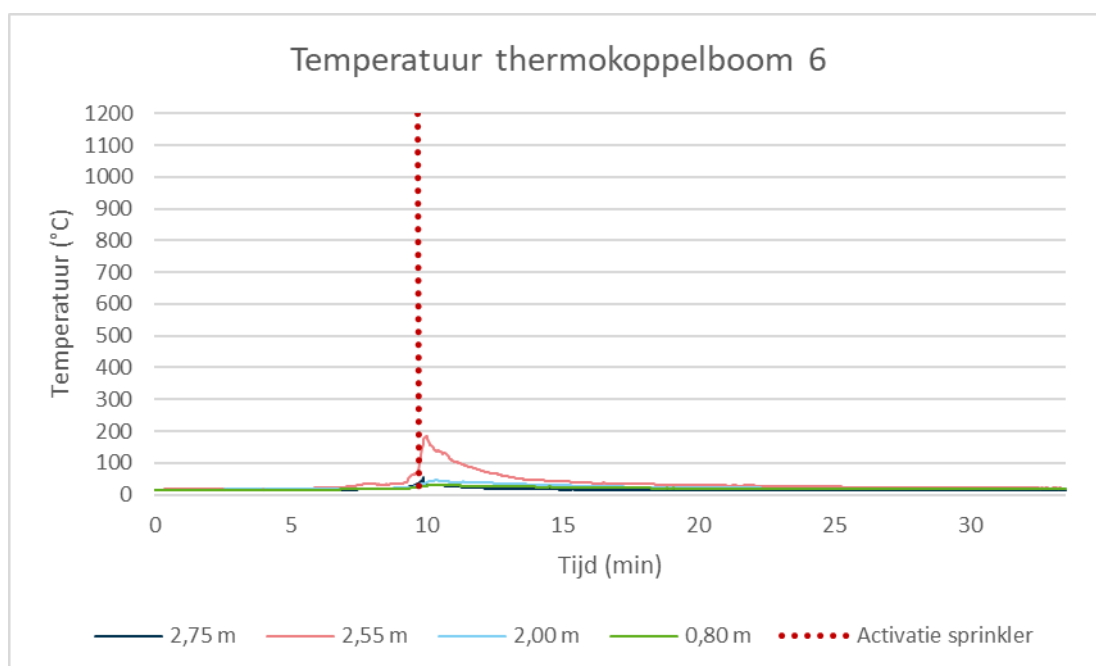
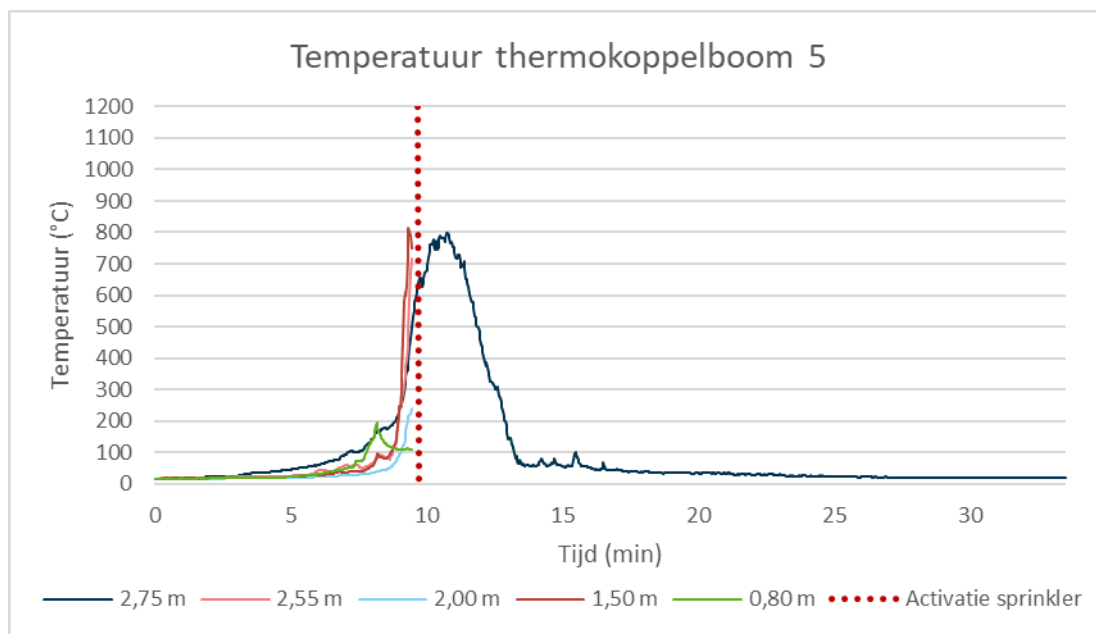


Temperatuur thermokoppelboom 3

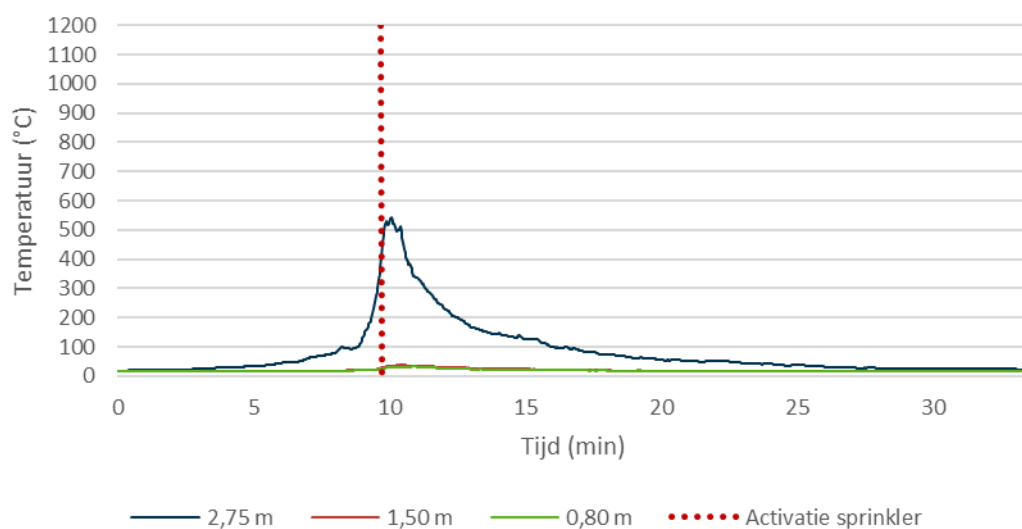


Temperatuur thermokoppelboom 4

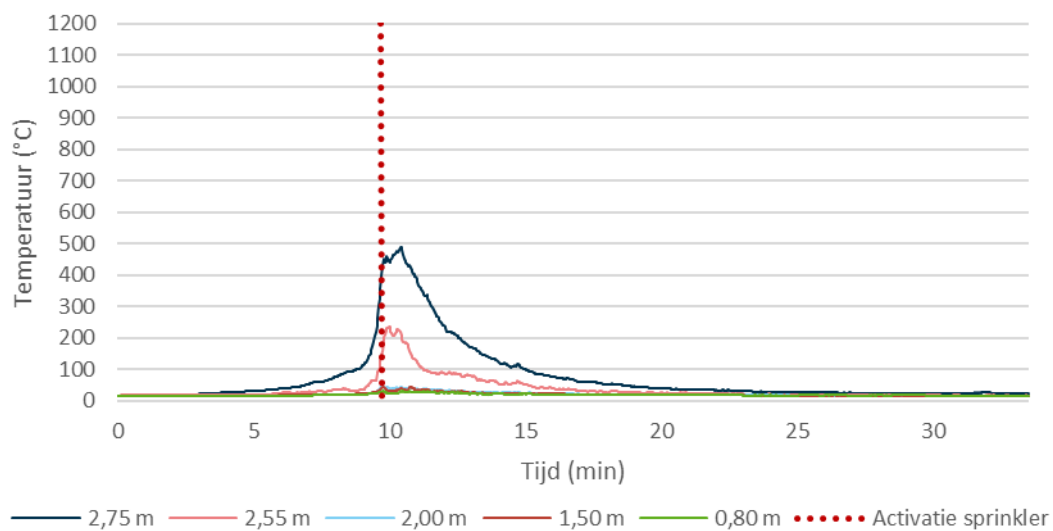


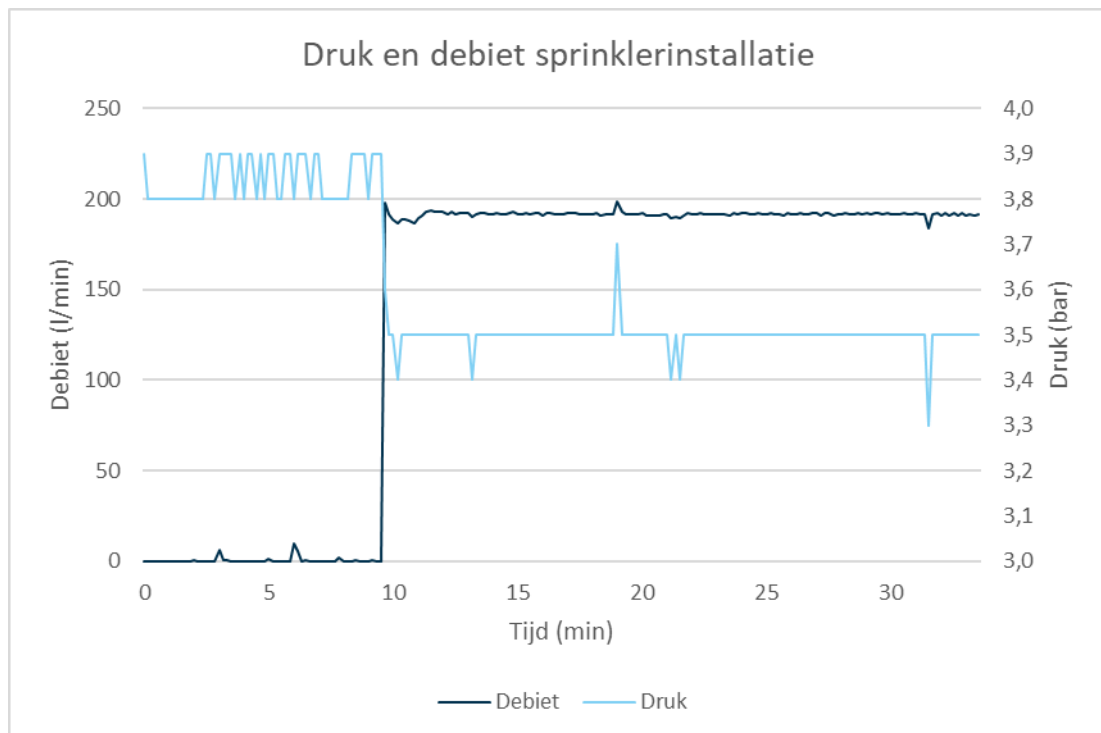


Temperatuur thermokoppelboom 7



Temperatuur thermokoppelboom 8





Fatbikes zonder sprinkler

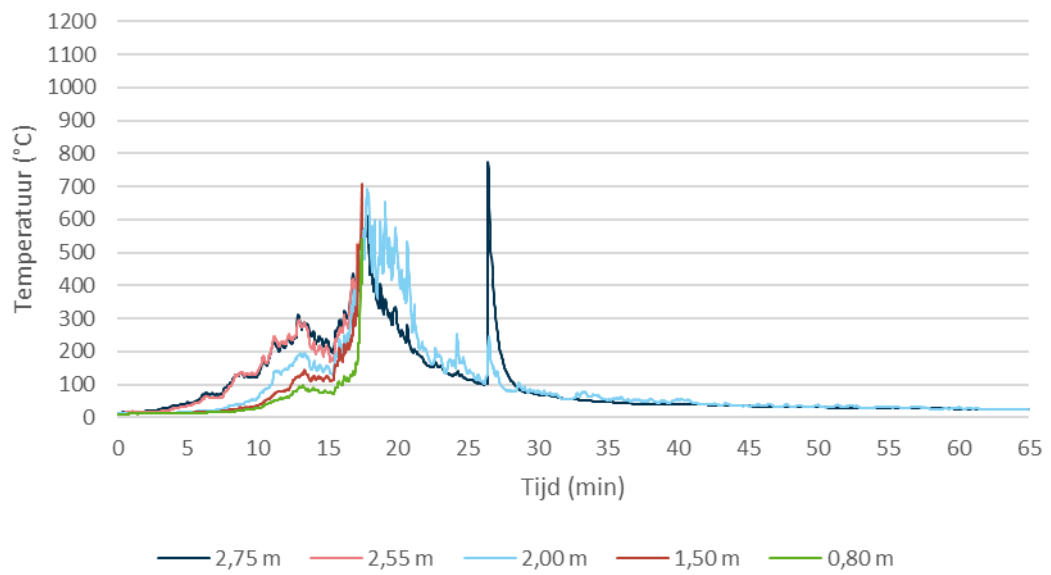
Bijzonderheden ten aanzien van de meetdata in de grafieken

Meerdere thermokoppels zijn naar beneden gevallen tijdens het experiment. De temperatuurmetingen zijn na het vallen niet meer betrouwbaar. Dit betreft boom 1 op hoogte 0,8 meter vanaf 17,5 minuut, boom 4 op hoogte 0,8 meter vanaf 10 minuten, boom 5 op hoogtes 0,8 en 1,5 meter vanaf 9 minuten en hoogte 2 meter vanaf 11,5 minuut, boom 6 op hoogtes 0,8 en 1,5 meter vanaf 10,5 minuut, boom 7 op hoogte 1,5 meter vanaf 16,5 minuut en hoogte 2 meter vanaf 25 minuten.

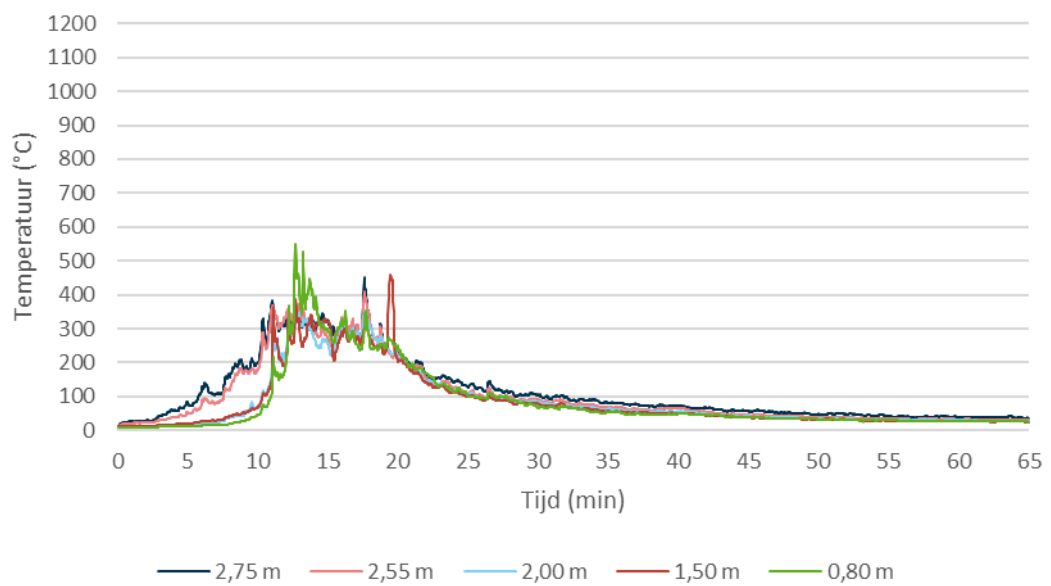
Een aantal thermokoppels zat na afloop van het experiment niet meer op hun plek, maar op camerabeelden is niet gezien wanneer ze gevallen zijn. Dit betreft boom 1 hoogte 1,5 en 2 meter en boom 7 hoogte 0,8 meter na vanaf 17,5 minuut. Omdat niet duidelijk is vanaf welk moment de thermokoppels niet meer op de juiste plek meten, zijn de betreffende metingen na 17,5 minuut als onvoldoende betrouwbaar bestempeld.

Daarnaast is de temperatuurmeting van boom 6 hoogtes 2 en 2,55 meter niet betrouwbaar tussen 16,5 en 18 minuten.

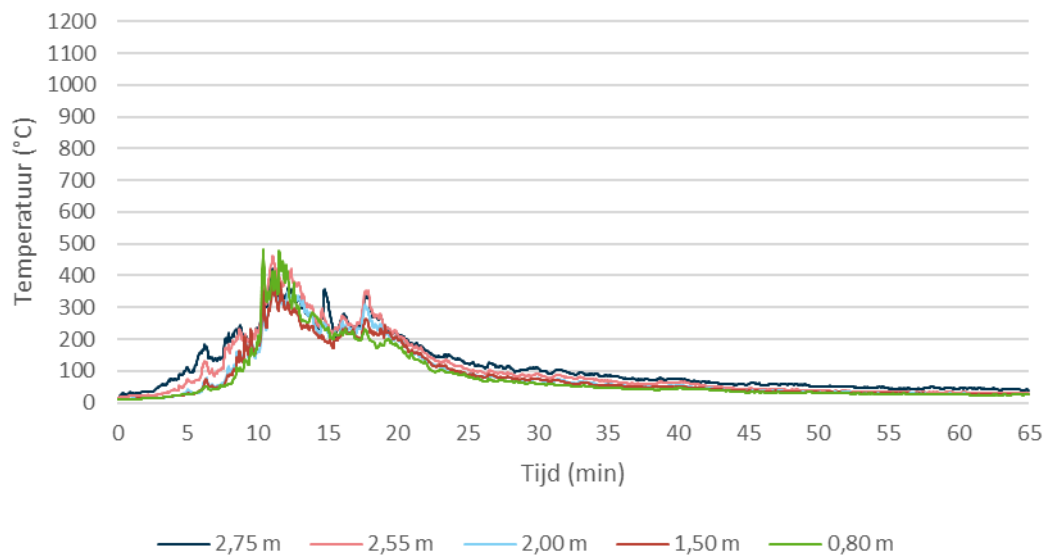
Temperatuur thermokoppelboom 1



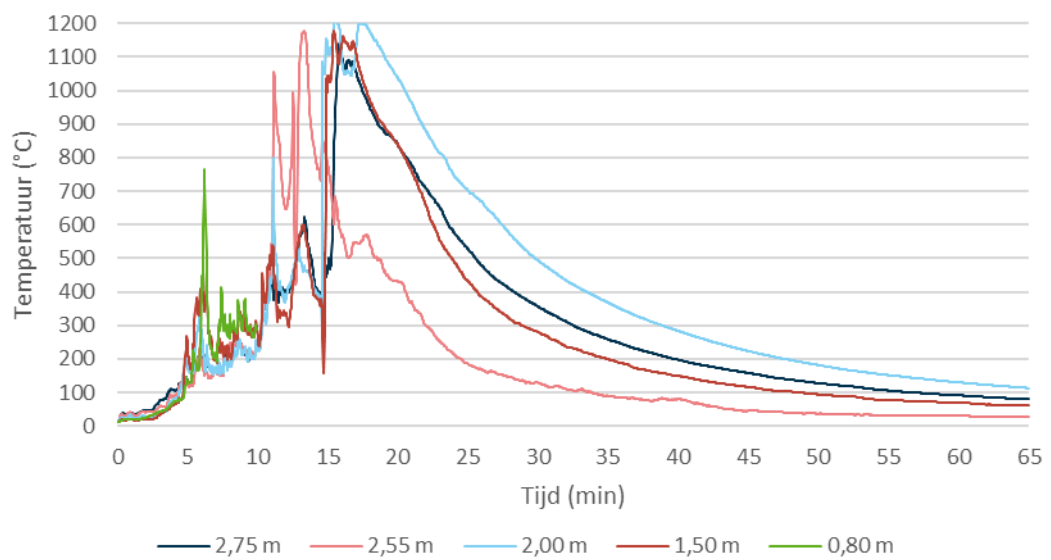
Temperatuur thermokoppelboom 2



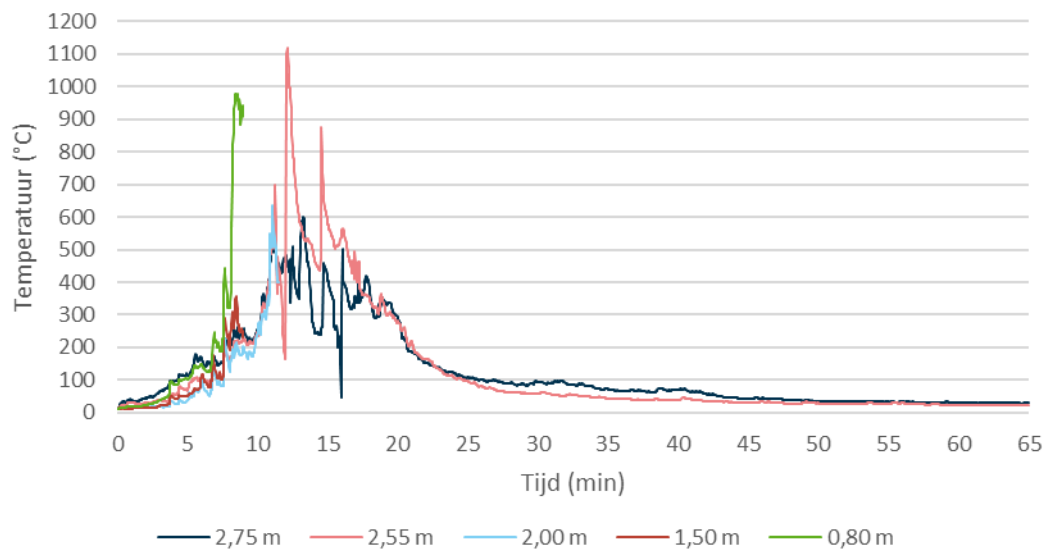
Temperatuur thermokoppelboom 3



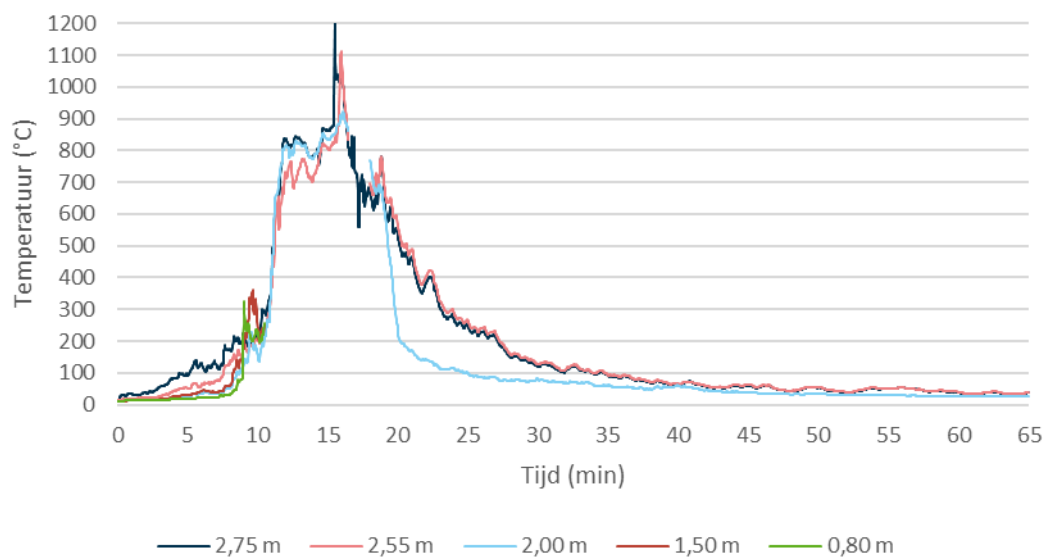
Temperatuur thermokoppelboom 4



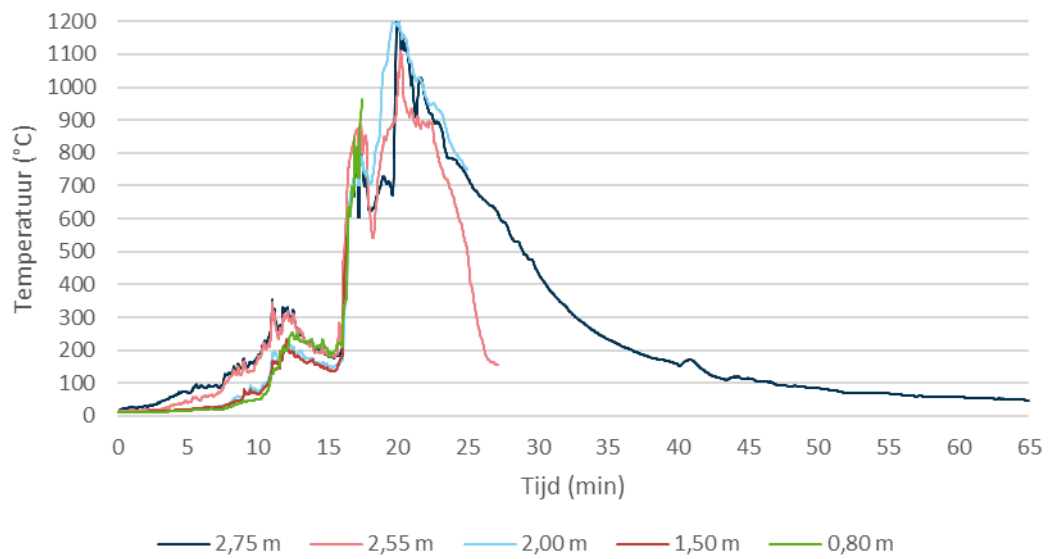
Temperatuur thermokoppelboom 5



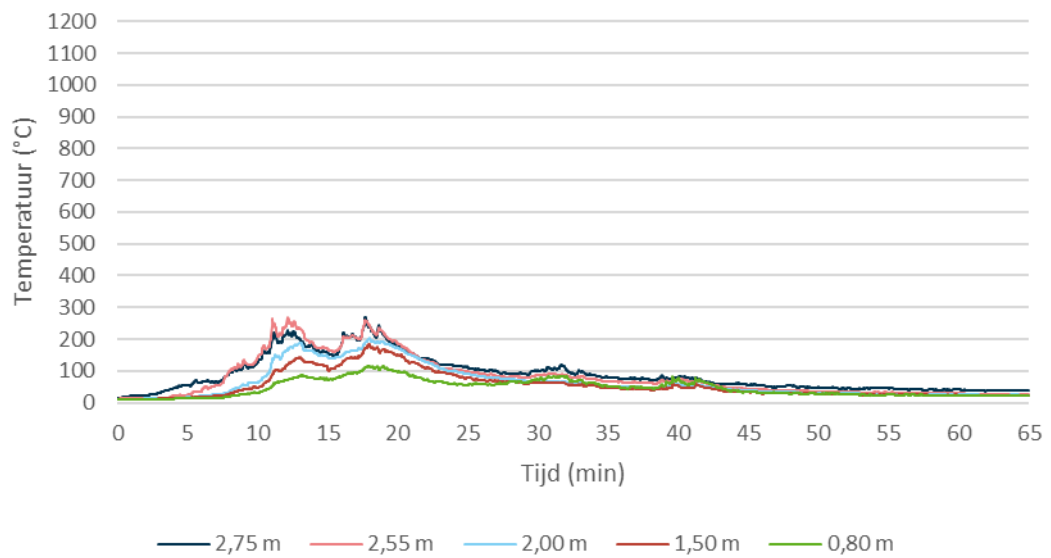
Temperatuur thermokoppelboom 6

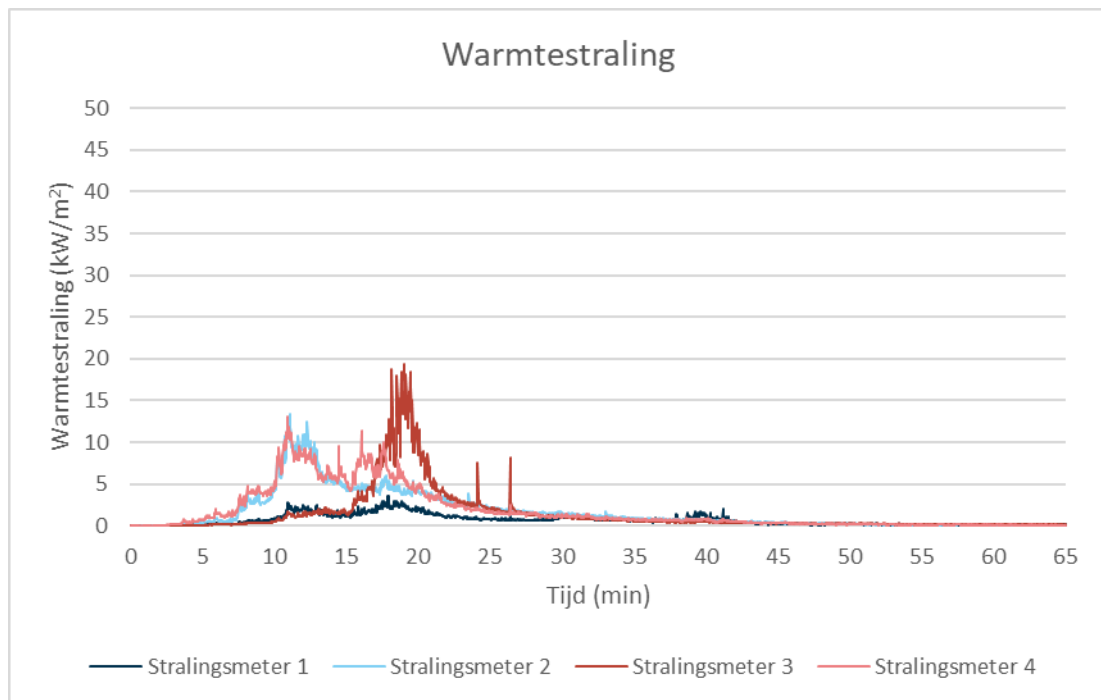


Temperatuur thermokoppelboom 7



Temperatuur thermokoppelboom 8

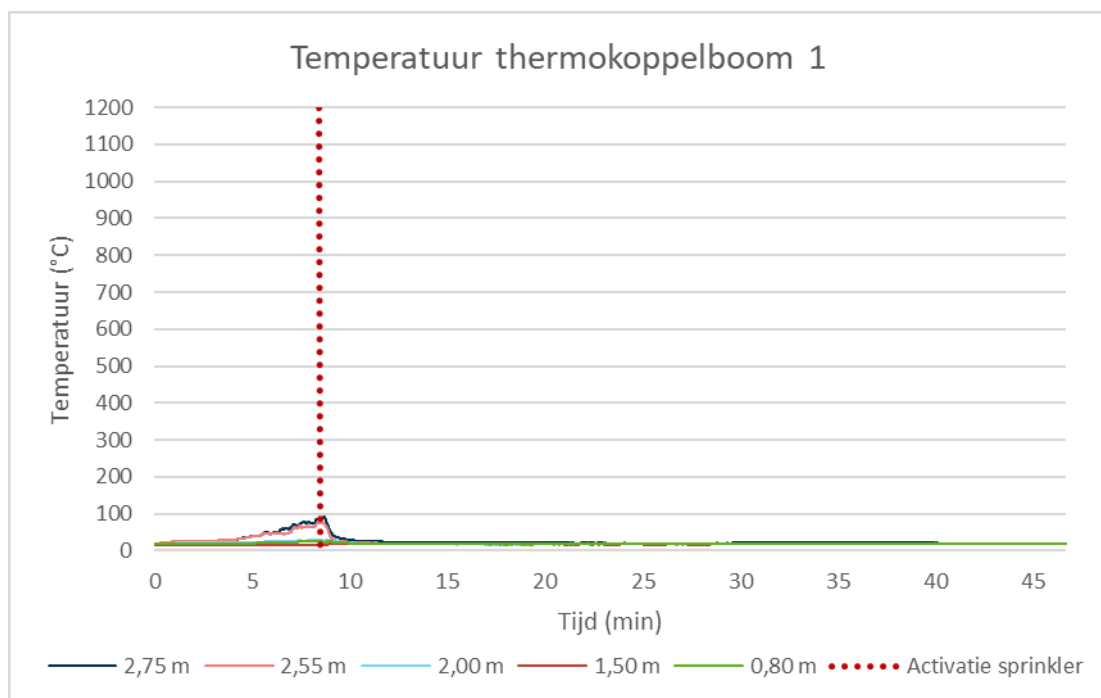


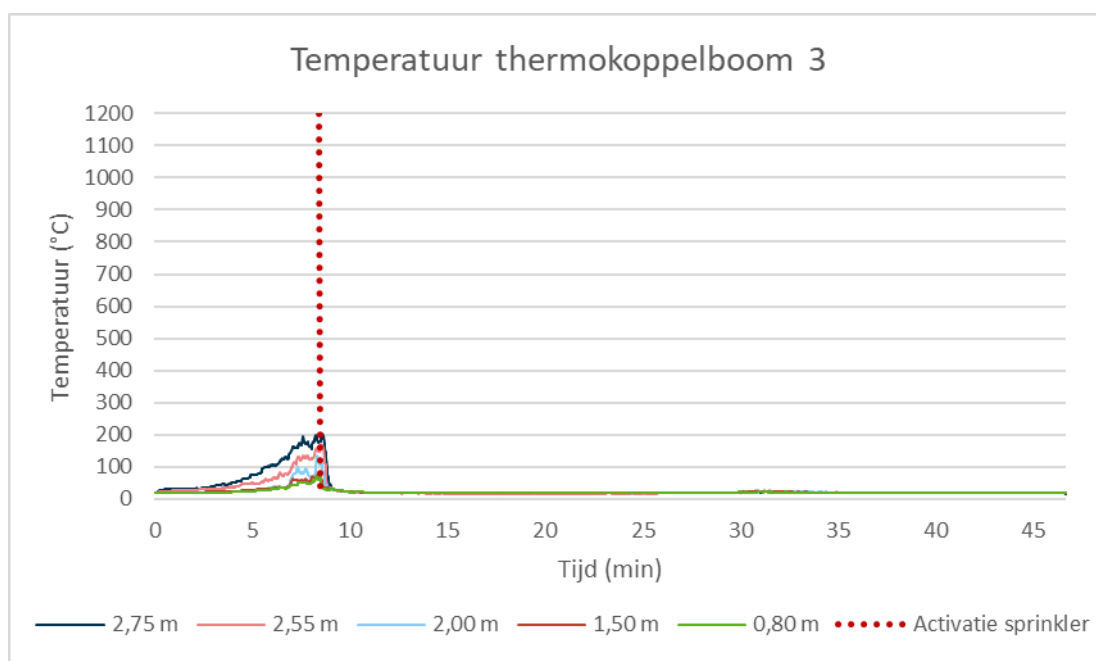
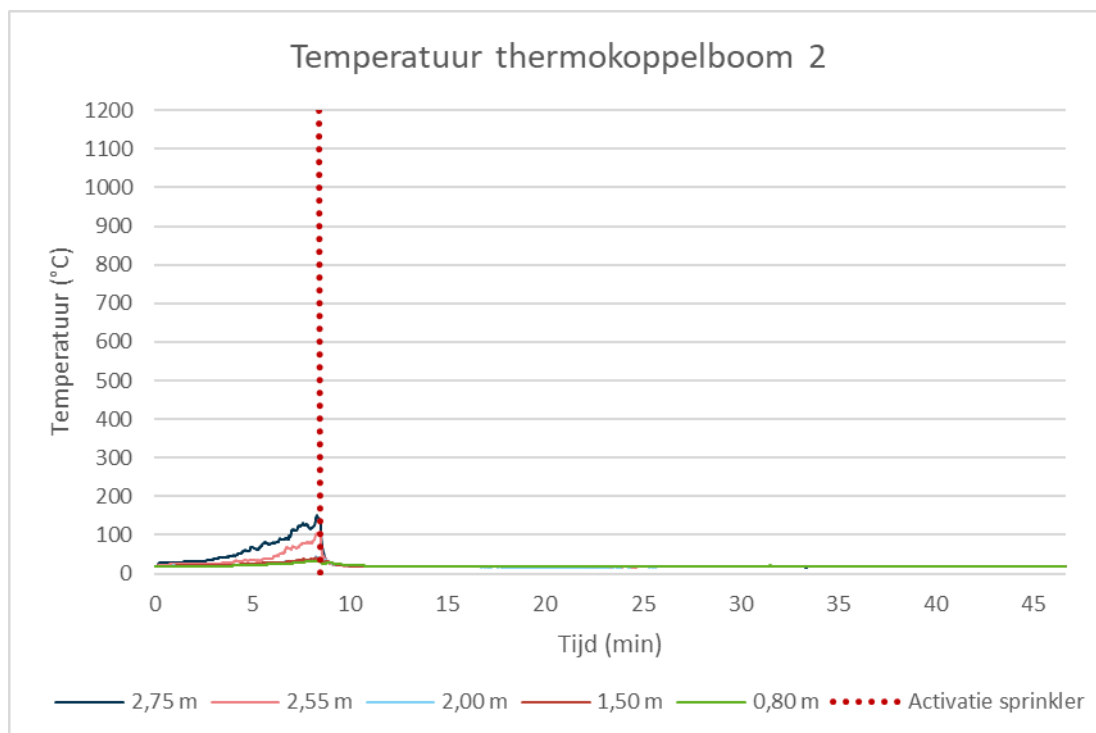


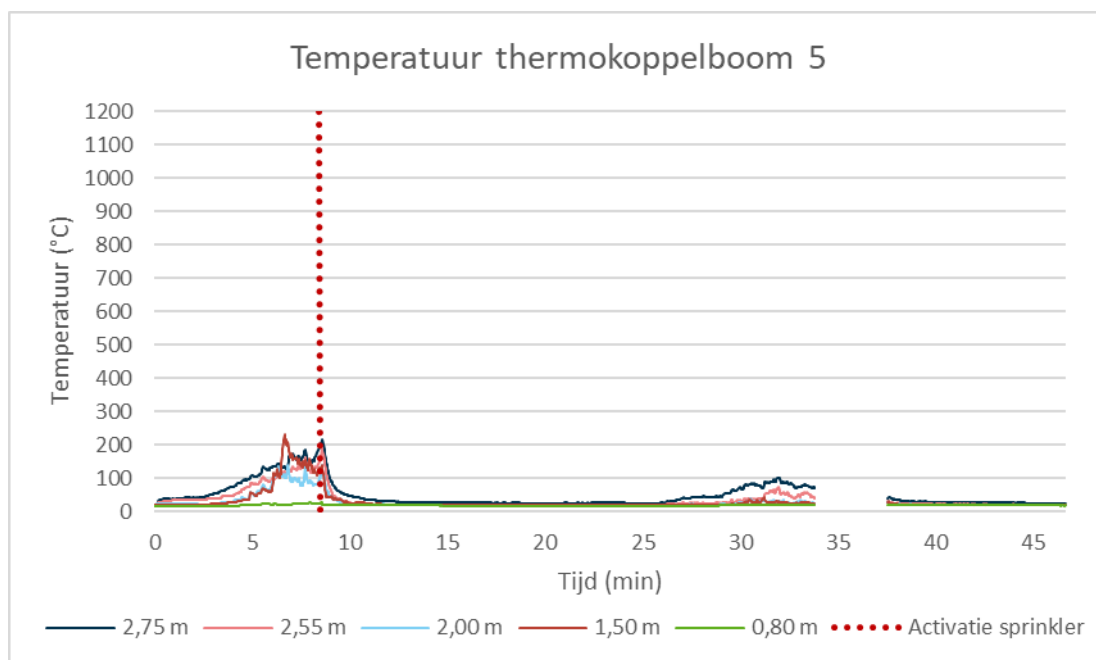
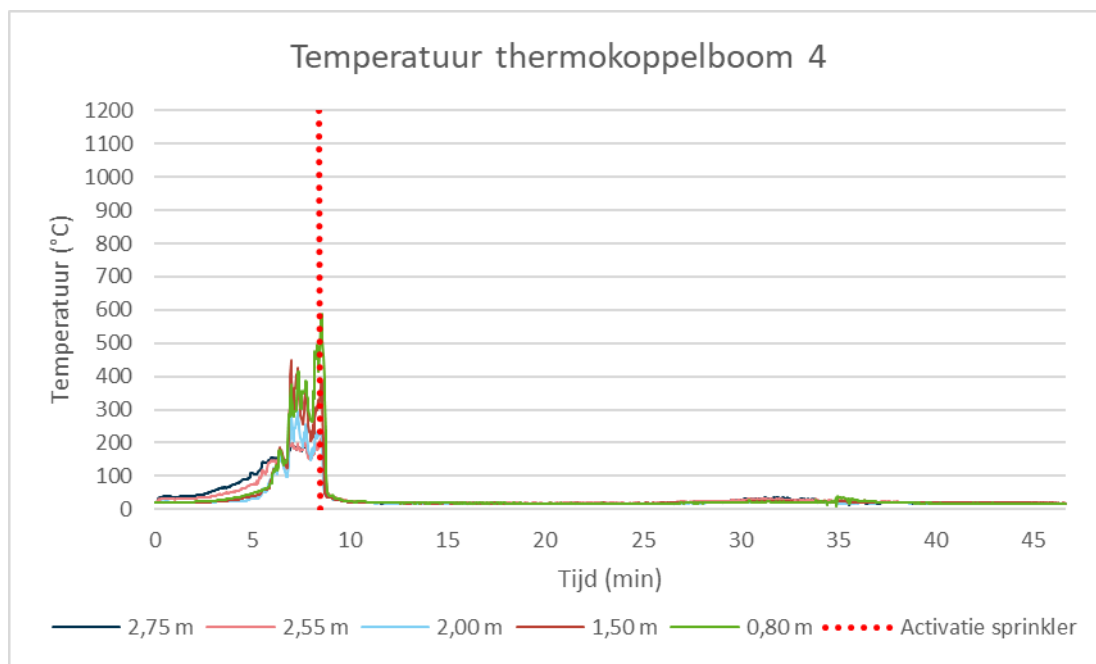
Fatbikes met sprinkler gevaarklasse HC-3

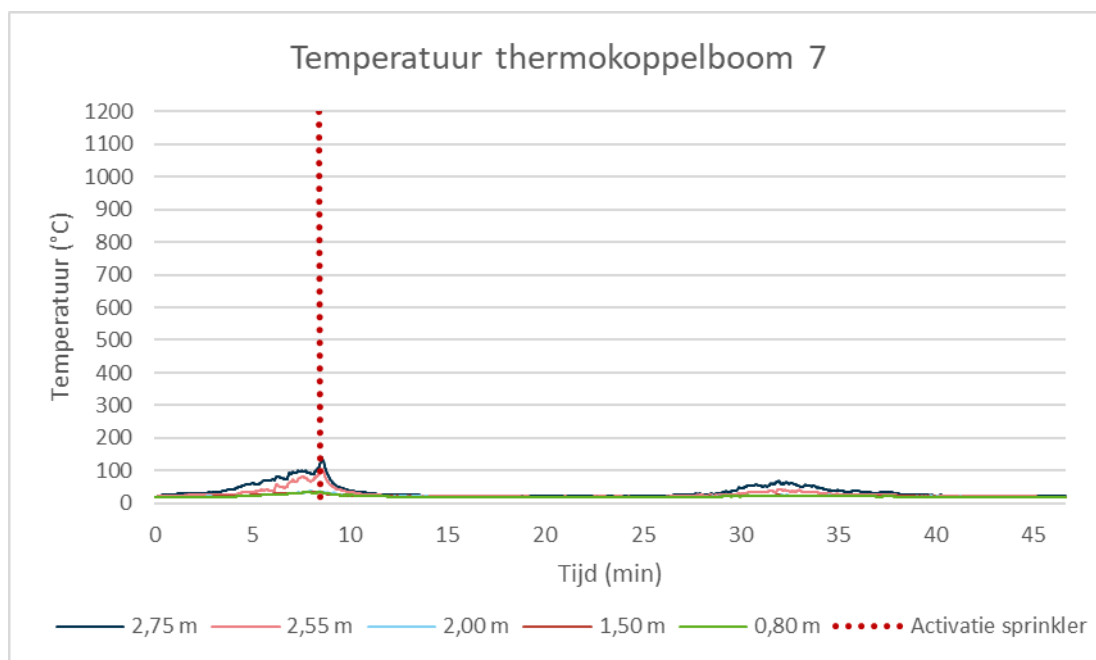
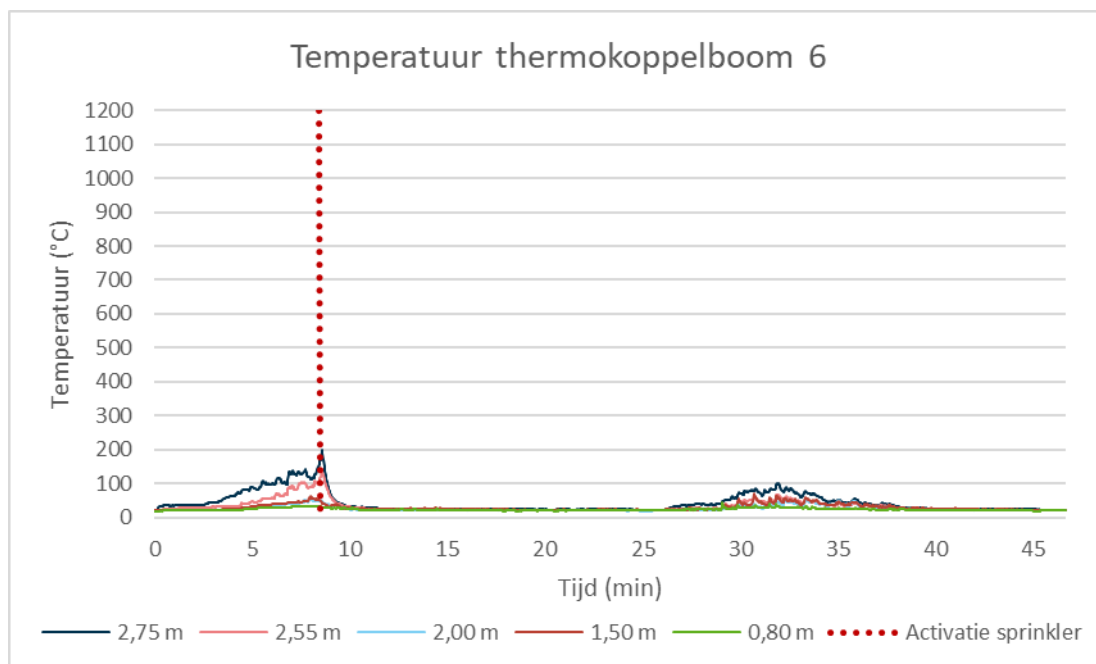
Bijzonderheden ten aanzien van de meetdata in de grafieken

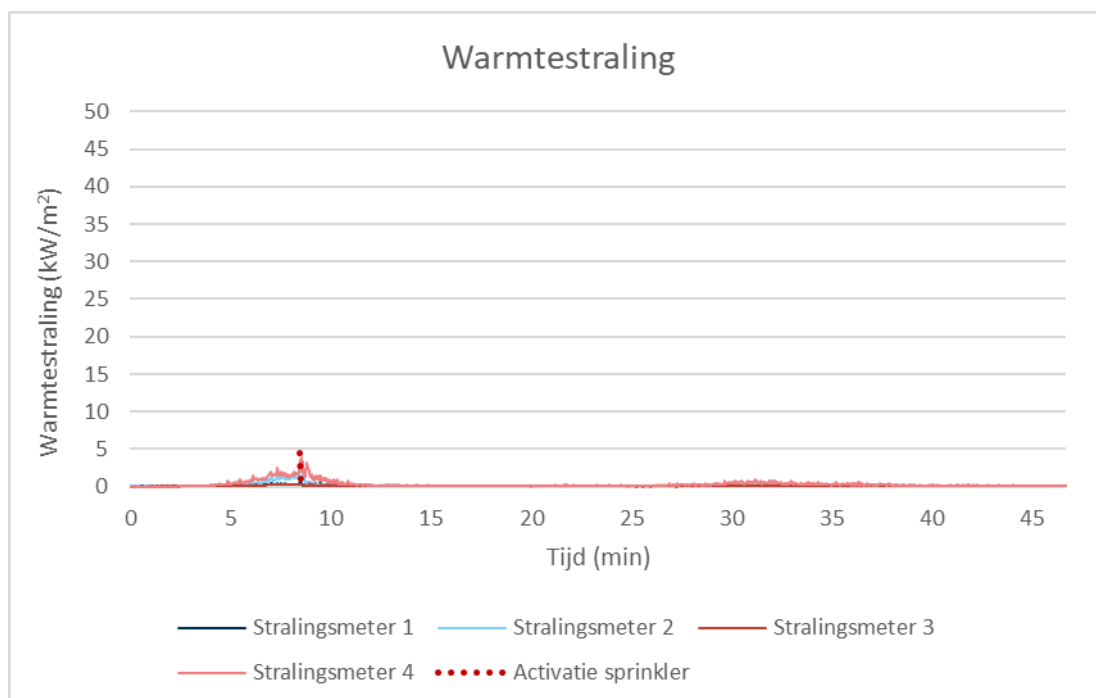
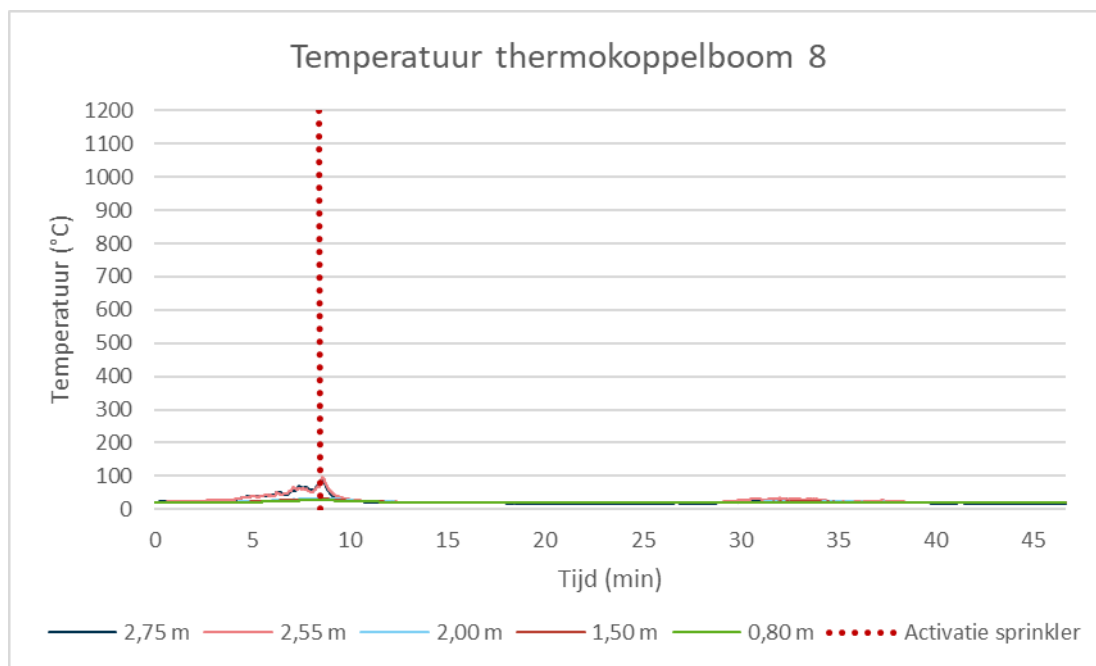
De temperatuurmetingen van thermokoppelboom 5 zijn tussen 34 en 37 minuten niet betrouwbaar.

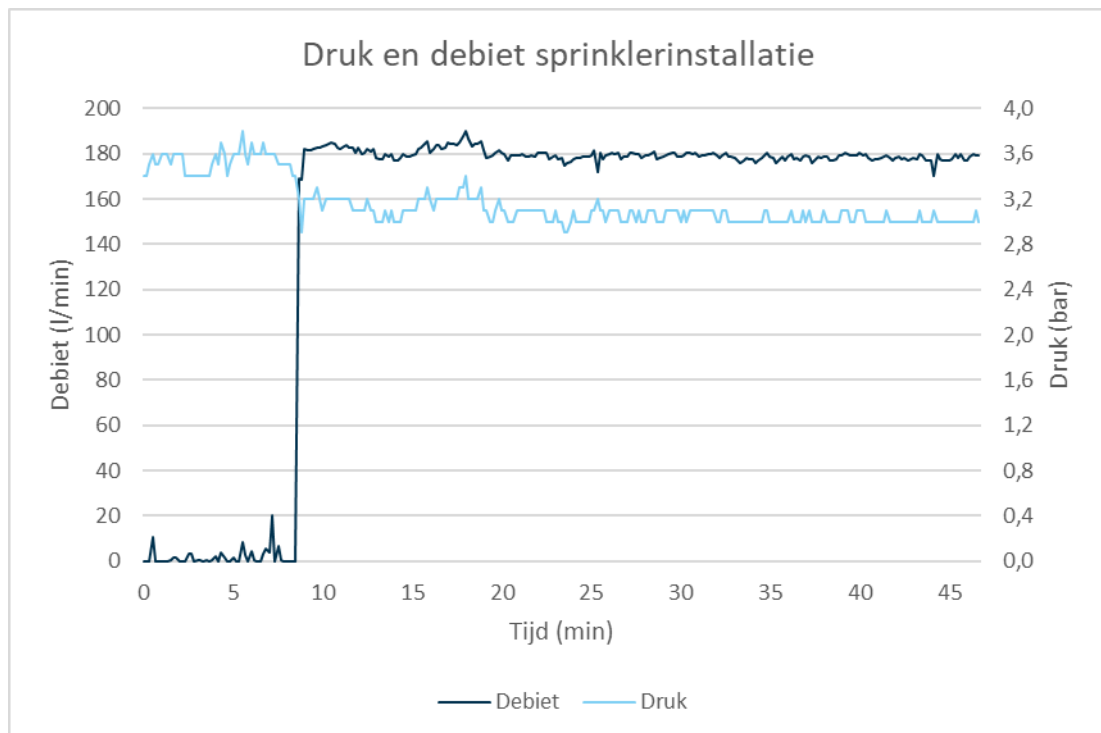








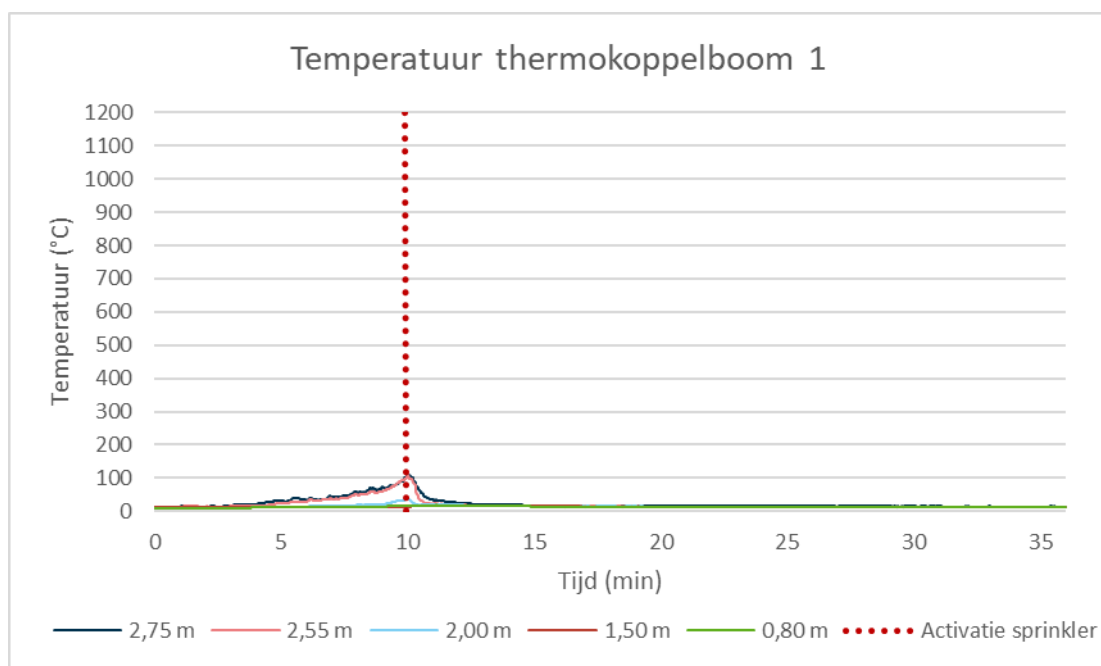


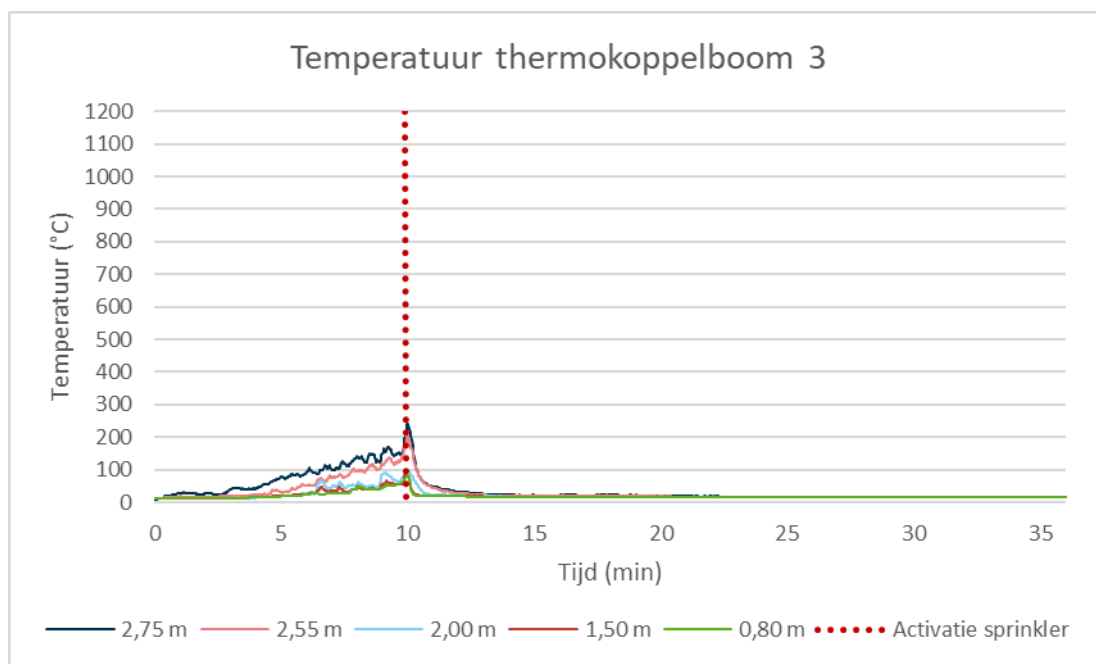
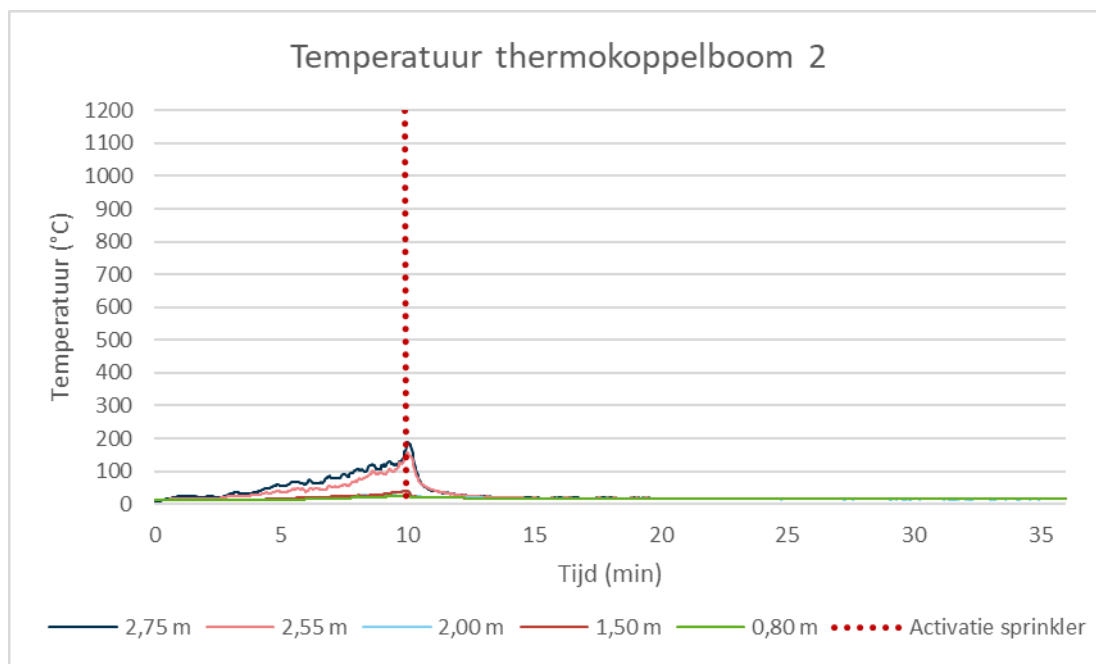


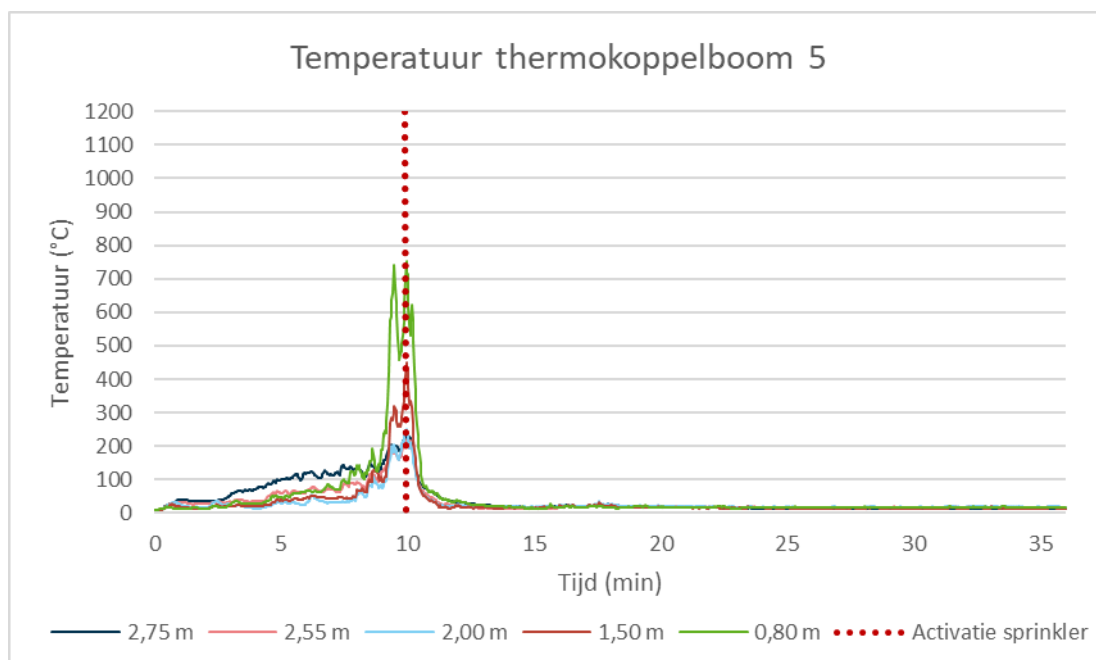
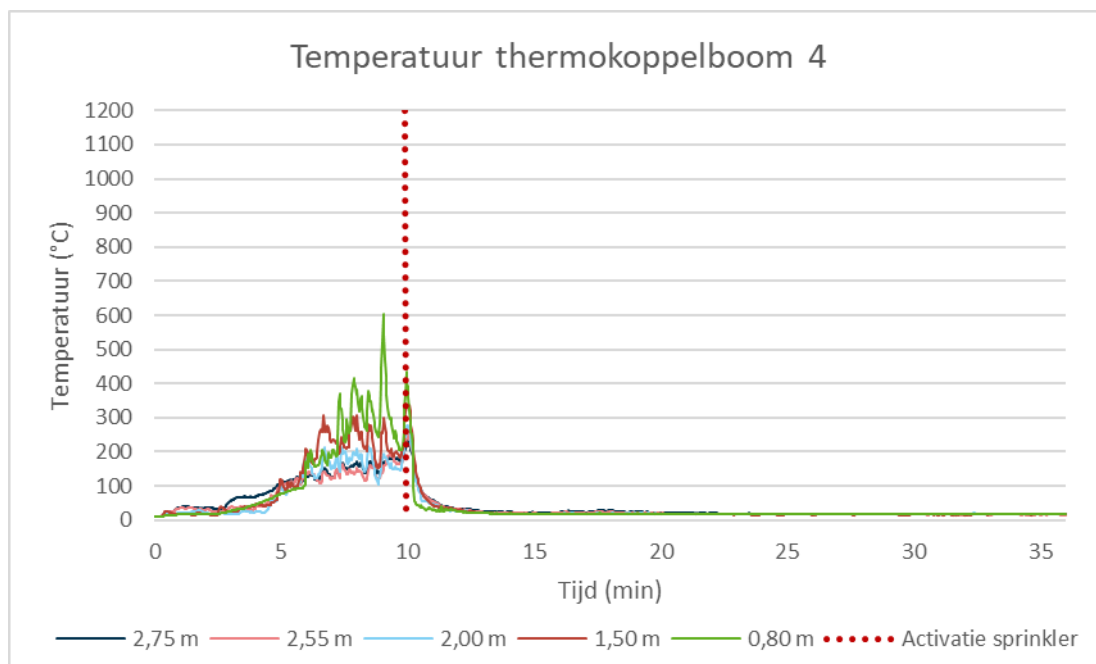
Fatbikes met sprinkler gevarenklasse HC-2

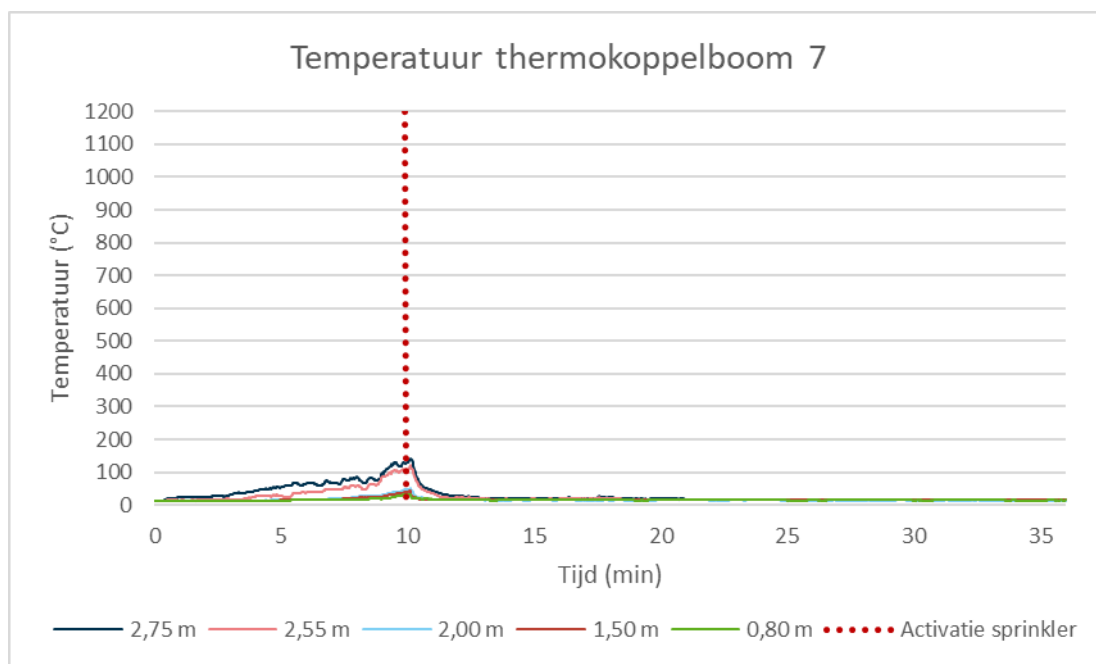
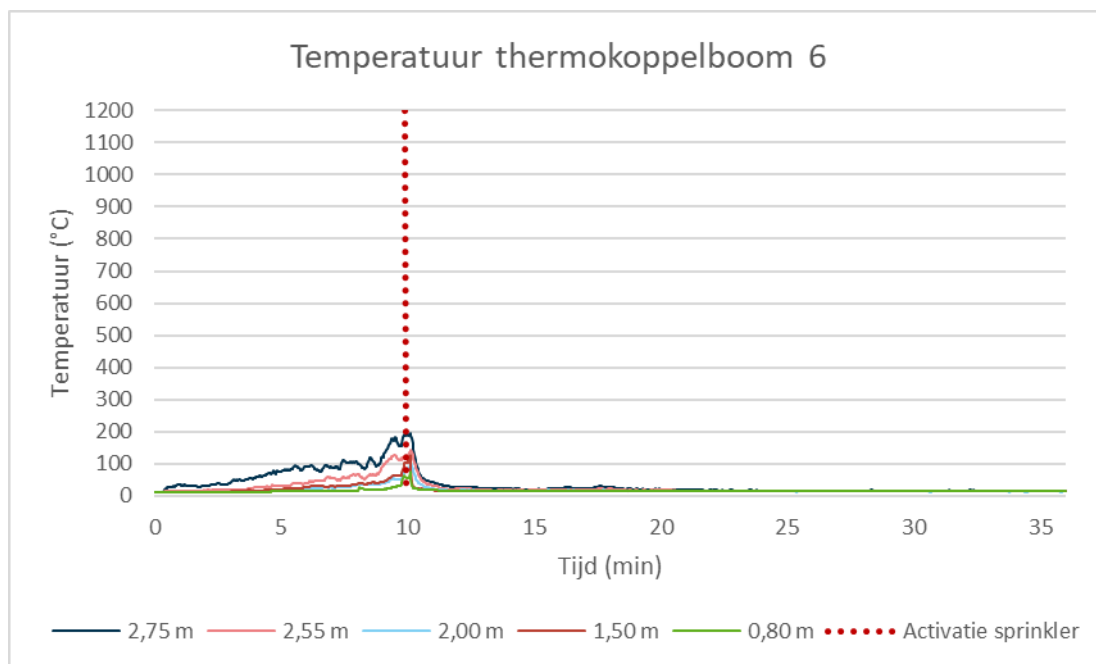
Bijzonderheden ten aanzien van de meetdata in de grafieken

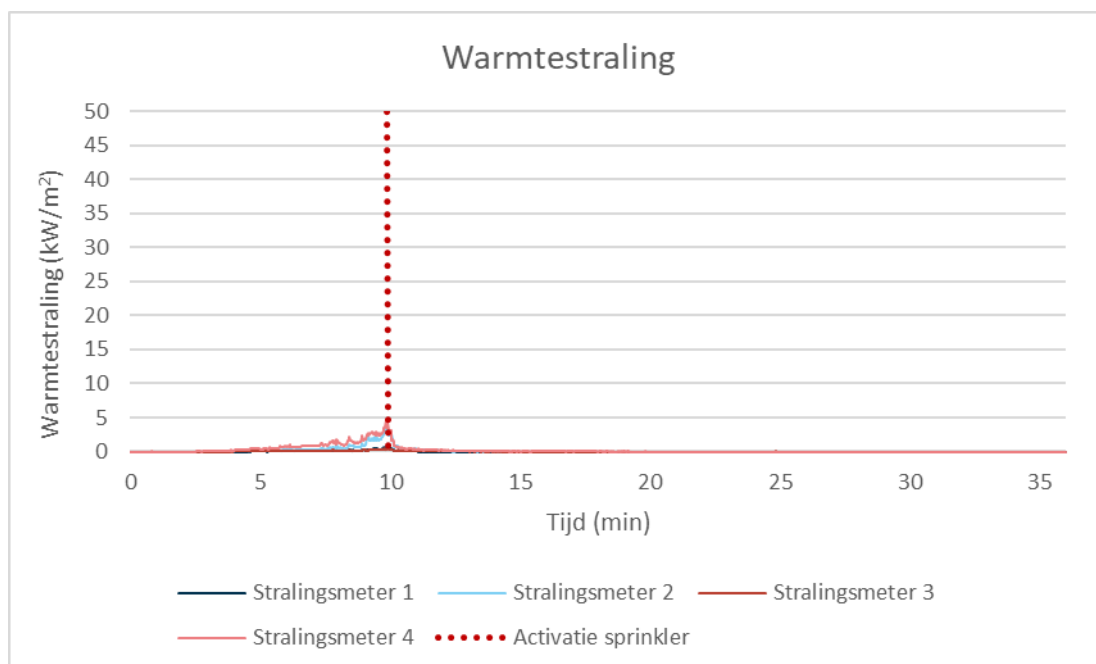
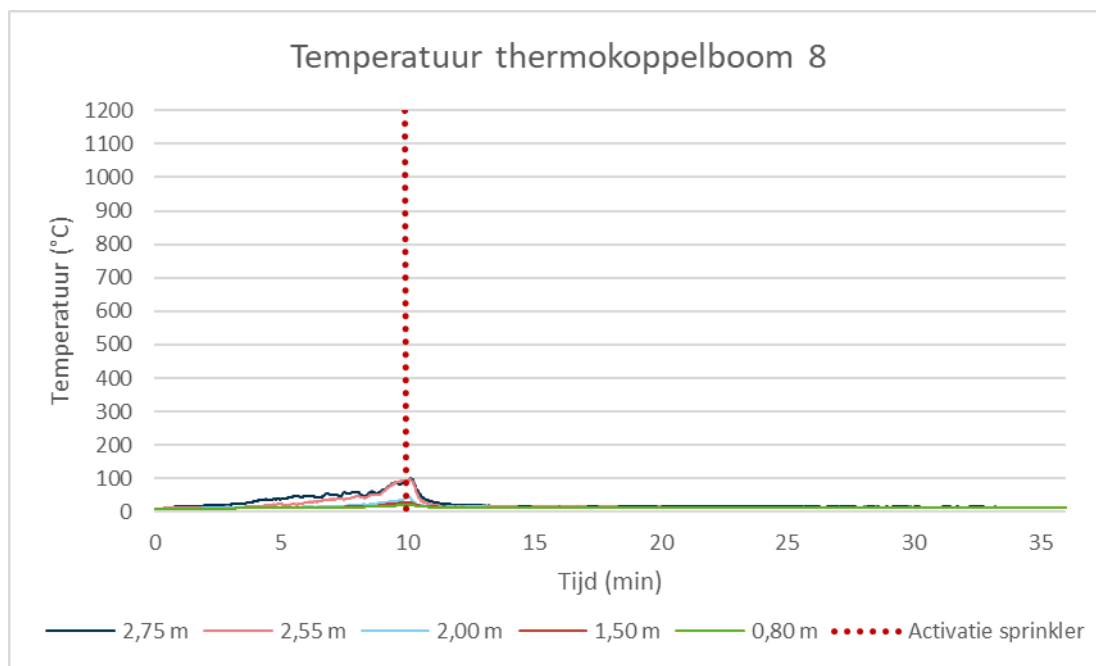
Er zijn geen bijzonderheden ten aanzien van de meetdata.

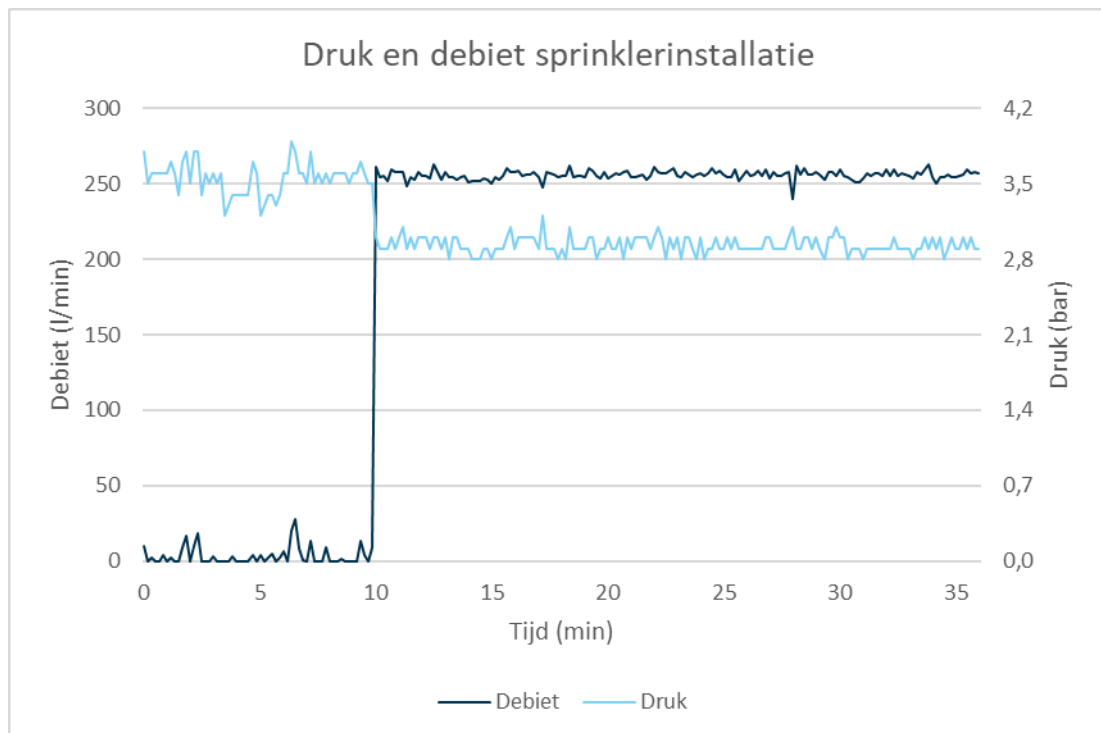












Scooters met sprinkler gevarenklasse HC-3

Bijzonderheden ten aanzien van de meetdata in de grafieken

Stralingsmeter 1 was defect en is niet gebruikt tijdens het experiment. Stralingsmeter 2 stond op 1,73 m vanaf de buitenrand van de scooters en stralingsmeter 4 op 1,10 m vanaf de buitenrand van de scooters, in plaats van 2,15 m zoals beschreven in het experimentplan. Dit is gedaan door het brandlab, omdat de testruimte niet groter was.

De temperatuurmetingen van thermokoppelboom 1 op 2,55 m hoogte zijn tussen 22,5 minuut en 25 minuten niet betrouwbaar.

