

## Forschung zur Brandsicherheit von industriellen Flachdächern mit PV-Anlagen

Nummer des Berichts	2021-Efectis-R001109[Rev.2](D)
Förderer	Stybenex Kerkstraat 14 4191 AB GELDERMALSEN Niederlande
Vorbereitet von	Efectis Nederlande BV
Autor(en)	ing. M.P. de Feijter ir. T.G. van der Waart van Gulik
Projektnummer	ENL-21-000009
Datum des Berichts	August 2023
Anzahl der Seiten	24

Alle Rechte vorbehalten.  
Kein Teil dieser Veröffentlichung darf ohne vorherige Genehmigung von Efectis Nederland BV vervielfältigt und/oder veröffentlicht werden.  
Die Bereitstellung des Efectis-Berichts zur Einsichtnahme durch unmittelbar Interessierte ist zulässig.

Wird dieser Bericht im Auftrag ausgeführt, so sind die Rechte und Pflichten des Auftraggebers und des Auftragnehmers in den Allgemeinen Geschäftsbedingungen für Forschungsaufträge an Efectis Nederland BV oder in der entsprechenden Vereinbarung zwischen den Parteien festgelegt.

## INHALTSVERZEICHNIS

---

1. Einführung	3
1.1 ZweckderStudie	3
1.2 Forschungsmethode	3
2. VerfügbareInformationen	4
2.1 Brandauf Flachdächern mit PV-Anlagen	4
2.2 Brandverhaltensstudien auf Flachdächern mit PV-Anlagen	17
3. Analyse	19
3.1 Brandursache	19
3.2 Brandverhalten	19
3.3 Untersuchungen	21
3.4 Anforderungen an die Dachkonstruktion und die Solarmodule	21
4. Lösungen zur Verbesserung der Brandsicherheit	23
4.1 Feuerentwicklung	23
4.2 Brandausdehnung	24

## 1. EINFÜHRUNG

---

Im Auftrag von Stybenex hat Efectis eine Studie über die Brandsicherheit von industriellen Flachdächern mit Sonnenkollektoren durchgeführt. Mit einer gewissen Regelmäßigkeit wird in den Publikationen über Brände auf Industriedächern mit Solarzellen berichtet. Die Versicherer stellen zusätzliche Anforderungen an die Baumaterialien, die auf einem Dach in Kombination mit Sonnenkollektoren verwendet werden sollen.

### 1.1 ZWECK DER STUDIE

Ziel der Studie ist es, auf der Grundlage einer Bestandsaufnahme mehrerer Brände und (wissenschaftlicher) Untersuchungen zum Brandverhalten vergleichbarer Konstruktionen eine Empfehlung zur Optimierung des Brandschutzes von Flachdächern mit Sonnenkollektoren zu erarbeiten.

### 1.2 FORSCHUNGSMETHODE

Efectis bat die Feuerwehr um Informationen über eine Reihe von Bränden auf Flachdächern, auf denen Solarzellen angebracht waren. Es wurden einige wissenschaftliche Studien zur Brandentwicklung auf Flachdächern mit Sonnenkollektoren durchgeführt. Auf der Grundlage der erhaltenen Informationen wurde eine Analyse durchgeführt, um die Faktoren aufzulisten, die den Verlauf und die Ausbreitung des Brandes beeinflussen. Daraufhin wurde ein Ratschlag zur Optimierung der Brandsicherheit von Flachdächern mit Sonnenkollektoren ausgearbeitet.

## 2. VERFÜGBARE INFORMATIONEN

### 2.1 BRÄNDE AUF FLACHDÄCHERN MIT PV-ANLAGEN

Die dem Kunden bekannten Brände wurden zur Untersuchung vorgelegt, weitere Brände wurden von Efectis zur Verfügung gestellt. Informationen über die Brände wurden von der Feuerwehr angefordert. Nicht alle Anfragen wurden beantwortet. Wo keine Informationen verfügbar waren, wurden öffentlich zugängliche Informationen herangezogen.

Das TNO hat im Auftrag der niederländischen Umweltbehörde eine Studie über Brände im Zusammenhang mit Solarzellen durchgeführt<sup>1</sup>. Diese Untersuchung von Bränden im Zeitraum 2016-2018 ergab 3 Brände auf Flachdächern, von denen sich einer auf einem Flachdach eines Industriegebäudes ereignete.

In diesem Bericht werden 8 Brände von Solarmodulen auf Flachdächern im Zeitraum 2016-2021 aufgeführt. Im August 2020 kam es zu einem Brand auf dem Dach von Heineken in Den Bosch. Zu diesem Brand wurden keine Informationen eingeholt, so dass er nicht in die Studie aufgenommen werden konnte.

#### 2.1.1 5. Juli 2016, Nordhornsestraat 101 Denekamp, Nijhuis Innenausbau

##### 2.1.1.1 Dachkonstruktion

Die Dachkonstruktion besteht aus Stahlträgern mit perforierten Stahlblechen als Dacheindeckung. Die Öffnungen in den Dachplatten sind mit Steinwolle gefüllt (für akustische Zwecke). Es ist nicht bekannt, ob die Steinwolle in eine PE-Folie verpackt war und ob eine Dampfbremssfolie vorhanden war. Auf dem Dach wurde eine EPS-Dämmschicht unbekannter Dicke aufgebracht, auf der eine PVC-Dachabdeckung liegt.



Abbildung 1 Feuer auf dem Dach (Quelle: [www.rtvooost.nl](http://www.rtvooost.nl))

Ob es eine Zwischenschicht zwischen Isolierung und Bedachung gab, ist nicht bekannt. Auf dem Foto ist keine Glasfaserzwischenlage zu sehen. Die Brandklasse des Daches und ob das Dach gemäß NEN 6063 entflammbar war, ist nicht bekannt.

<sup>1</sup> Brandereignisse mit Photovoltaikanlagen (PV) in den Niederlanden, E.E. Bende, N.J.J. Dekker, TNO, 2019





Abbildung 2 Überblick über die Schäden auf dem Dach (Quelle: unbekannt)



Abbildung 3 Schäden am Dach (Quelle: Feuerwehr Twente)



Abbildung 4 Das Feuer wurde vor der Brandtrennung gestoppt (an der Stelle der Plane auf dem Dach) (Quelle: Feuerwehr Twente)

### 2.1.1.2 Sonnenkollektoren

Die Fotos zeigen, dass der Abstand zwischen den Reihen der Solarmodule etwa 20-40 cm beträgt. Die Trägerstruktur der Solarmodule scheint aus Aluminiumprofilen mit einigen Kunststoffteilen zu bestehen.

### 2.1.1.3 Brandverhalten

Die Feuerwehr stellte fest, dass das Feuer auf dem Dach ausgebrochen war. Auf dem Dach gab es außer den Solarmodulen und den dazugehörigen Geräten keine weiteren Zündquellen. Nach den Bildern des Schadens zu urteilen, scheint sich das Feuer nicht über einen Bereich von etwa 4 Metern von den Solarmodulen entfernt ausgebreitet zu haben. Durch herabfallendes brennendes Material brach im Gebäude ein Sekundärbrand aus (die Feuerwehr gibt an, dass die Brandausbreitung durch brennendes, tropfendes EPS verursacht wurde). Wenn die Steinwolle-Kanülenfüllung in HDPE-Folie eingewickelt ist, kann nicht ausgeschlossen werden, dass diese Folie die Ausbreitung des Brandes durch die Löcher im Dach durch abtropfendes Feuer verursacht haben könnte.



Abbildung 5 Das Dach ist an den feuerfesten Trennwänden mit Steinwolle unterbrochen, aber nicht mit einer Schicht aus Betonplatten bedeckt (Quelle: Feuerwehr Twente)



Abbildung 6 Sekundärbrand im Gebäude, verursacht durch brennendes Fallmaterial (Quelle: Feuerwehr Twente)



## 2.1.2 19. Juni 2018, Opmeer, Gemeindehaus

### 2.1.2.1 Dachkonstruktion

Die Dachkonstruktion besteht aus Beton mit 100 mm EPS-Dämmung und einer bituminösen Dacheindeckung. Auf dem Dach befindet sich eine Schicht aus Kies. Es liegen keine Informationen über die Brandabschnittsbildung des Gebäudes vor.

### 2.1.2.2 Sonnenkollektoren

Die Solarmodule (Shell Solar Energy RSM 110) sind in zwei Reihen auf dem Dach installiert. Direkt unter den Solarmodulen befindet sich kein Kies.

### 2.1.2.3 Brandverhalten

Das Feuer beschränkte sich auf zwei Solarmodule. Die bituminöse Dachabdeckung begann ebenfalls zu brennen, und die Fotos zeigen, dass die EPS-Dämmung auf einer Fläche von etwa 40x40 cm geschmolzen, verdampft oder weggebrannt war (Schätzung anhand des Fotos). Wo das Dach mit Kieselsteinen beschwert ist, hat sich das Feuer nicht ausgebreitet.



Abbildung 7 Feuer auf dem Dach des Rathauses von Opmeer (Quelle: [www.noordhollandsdagblad.nl](http://www.noordhollandsdagblad.nl))

Das Feuer brach in einem Solarmodul aus. In den Solarmodulen wurden an mehreren Stellen Überhitzungsspuren gefunden. Nach den Fotos zu urteilen, scheint ein Teil der tragenden Struktur der Solarpaneele aus Kunststoff zu bestehen, und diese Teile waren an der Verbrennung beteiligt.



Abbildung 8 Schäden an Solarmodulen und Dach. Geschmolzenes EPS ist durch den roten Pfeil sichtbar.  
 charakteristische "karamellisierte Tropfen" (Quelle: Gemeinde Opmeer)

### 2.1.3 17. September 2019, Amsterdam, Speicherhalle

#### 2.1.3.1 Dachkonstruktion

Die Dachkonstruktion besteht aus Stahlblechen, PIR-Isolierung und PVC-Dachbahnen. Es ist nicht bekannt, ob das Dach unterteilt ist.

#### 2.1.3.2 Sonnenkollektoren

Das Dach ist fast vollständig mit Solarzellen bedeckt. Der Abstand zwischen den Platten beträgt etwa 30 cm (Schätzung auf anhand von Fotos).

#### 2.1.3.3 Brandverhalten

Das Feuer brach in einem Schaltkasten aus, der umgestürzt war und vor dem Brand wieder aufgerichtet wurde.

Die Brandschäden beschränken sich auf einen Bereich neben dem Schaltkasten, entlang des Kabelkanals und an der Stelle der vom Brand betroffenen Solarpaneele. Das Feuer breitete sich nicht weiter über das Dach oder nach innen aus.





Abbildung 9 Schäden auf dem Dach der Lagerhalle (Quelle: Amsterdam-Amstelland Fire Service)

Das Feuer breitete sich vom Schaltschrank über den Kabelkanal auf die Solarmodule aus. Dies entspricht dem normalen Brandverhalten in einer Elektroinstallation. Das Feuer läuft in Richtung der Stromquelle (in diesem Fall die Solarmodule), da es immer wieder zu elektrischen Verbindungen kommt.

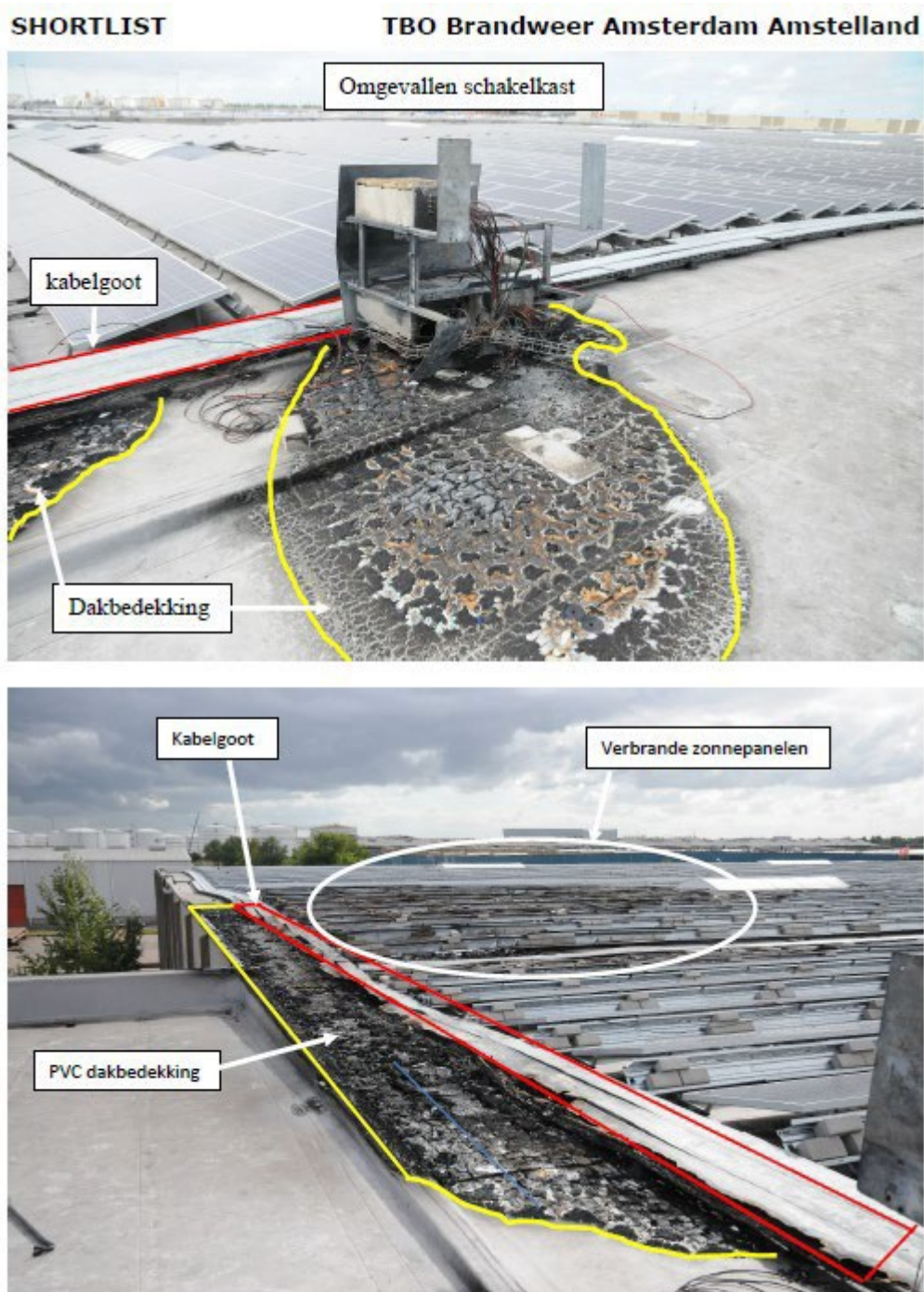


Abbildung 10 Schäden neben dem Schaltkasten und dem Kabelkanal (Quelle: Amsterdam-Amstelland Fire Service)

### 2.1.4 5 Juni 2019, Tiere, Gazelle Fahrradfabrik

Die einzige Information, die die Feuerwehr über diesen Brand erhielt, war, dass im Dach eine Steinwollisolierung verwendet worden war. In den Nachrichten im Internet ist nur von einem Brand auf dem Dach die Rede, nicht aber von einer Ausbreitung nach innen. Auf einem der verfügbaren Fotos ist zu sehen, dass ein Dachfenster durch das Feuer geschmolzen ist, das Feuer aber noch nicht in das Gebäude eingedrungen war.





Abbildung 11 Schäden auf dem Dach von Gazelle (Quelle: [www.omroepgelderland.nl](http://www.omroepgelderland.nl))



Abbildung 12 Schäden auf dem Dach der Gazelle, wo das Feuer ein Dachfenster erreichte (Quelle: unbekannt).

#### 2.1.5 23. Mai 2020, Veenland Wateringen

##### 2.1.5.1 Dachkonstruktion

Die Dachkonstruktion besteht aus einer Bitumenschicht mit 15 cm EPS-Dämmung, die auf einer Stahlspundwand ruht. Das Gebäude hat eine Fläche von 1610 m<sup>2</sup>. Eine Unterteilung in Brandabschnitte gibt es nicht.



### 2.1.5.2 Sonnenkollektoren

Auf dem Lagerhaus, in dem das Feuer ausbrach, befanden sich 108 Solarmodule. Auf dem Büro befanden sich 42 Solarmodule (Typ AC 260p / 156-60 S). Die Wechselrichter befanden sich unter dem Dach. Zwischen den Reihen der Solarmodule wurden 30x30 cm große Betonplatten verlegt.

### 2.1.5.3 Brandverhalten

Das Feuer brach in einem Verteilerkasten unter einem Solarmodul aus (Quelle: TBO Feuerwehr Haaglanden). Die Solarmodule waren auf einer Kunststoffunterkonstruktion (mit Betonballastplatten) angebracht, die zur Brandentwicklung beitrug. Unter den Solarmodulen befanden sich Blätter und Kabel, die zur Entstehung des Brandes beitrugen. In der Folge begann die bituminöse Dacheindeckung zusammen mit der EPS-Dämmung zu brennen. Durch Risse in der Dachkonstruktion wurde beobachtet, dass sich das Feuer zwischen der Dachplatte und dem Bitumen bewegte.

Das Feuer breitete sich nicht weiter über das Dach oder in die Innenräume aus.



Abbildung 13 Schäden auf dem Dach (Quelle: TBO Fire Department Haaglanden)



Abbildung 14 Tragstruktur aus Kunststoff

#### 2.1.6 21. Juni 2019, Sporthal Buitenpost

Von der Feuerwehr liegen keine Informationen über diesen Brand vor. Anhand des Fotos und von Nachrichtenartikeln im Internet lässt sich Folgendes feststellen:

Das Feuer beschränkte sich auf zwei Reihen von Solarmodulen. Es kam zu keiner weiteren Ausbreitung über das Dach oder in das Gebäude.

Aus dem Foto geht hervor, dass für das Dach ein PVC-Dachmaterial verwendet wurde. Die verwendete Isolierung ist nicht bekannt.

#### 2.1.7 27. September 2017, Wellensiekstraat 4, Ede

Informationen zu diesem Brand wurden bereits von der Feuerwehr für eine frühere Untersuchung von Efectis erhalten.

##### 2.1.7.1 Dachkonstruktion

Die Dachkonstruktion besteht aus einer Stahldachplatte mit 65 mm PIR-Dämmung (Kingspan TR26 FM) und einer Alkorplan F 35176 (PVC) Dacheindeckung.

##### 2.1.7.2 Sonnenkollektoren

Die Solarmodule wurden auf schrägen Dachabschnitten mit einem Abstand von 8 cm zwischen dem Dach und dem Solarmodul installiert.

##### 2.1.7.3 Brandverhalten

Der Brand wurde von einem Passanten bemerkt, woraufhin ein erfolgreicher Löschversuch mit einem Handfeuerlöcher unternommen wurde. Das Feuer beschränkte sich auf ein Solarmodul. Das Feuer konnte sich entlang einer aufrechten Dachkante ausbreiten, erreichte aber nicht das Innere.



Abbildung 15 Der Brandschaden beschränkt sich auf einige Paneele und einen kleinen Teil des Daches.

#### 2.1.8 30-12-2021, Sporthal Elst.

##### 2.1.8.1 Dachkonstruktion

Die Dachkonstruktion bestand aus einer Stahldachplatte mit Steinwolle­dämmung (Dicke unbekannt) und einer bituminösen Dacheindeckung. An verschiedenen Stellen auf dem Dach befanden sich Ventilatoren in Kunststoffgehäusen.

##### 2.1.8.2 Sonnenkollektoren

Ungefähr 80 % des Daches wurden mit Solarzellen bedeckt. Die Paneele wurden in Ost-West-Richtung auf einer Aluminium-Unter­konstruktion verlegt. Die Anlage war noch nicht angeschlossen an das Stromnetz. Anhand der Fotos wird der Abstand zu den Ventilatoren auf maximal 1 Meter geschätzt.

##### 2.1.8.3 Brandverhalten

Die Feuerwehr stellte fest, dass das Feuer in einem der Ventilatoren ausgebrochen war. Das Kunststoffgehäuse des Ventilators fing daraufhin Feuer, das auf die Dachfläche und die Solarzellen übergriff.

Etwas mehr als ein Viertel der Fläche der Solarmodule war von dem Brand betroffen. Das Feuer breitete sich nicht im Inneren aus. Allerdings gibt es in der Sporthalle einen erheblichen Wasserschaden. Die Sporthalle bestand aus einem einzigen Brandabschnitt, so dass das Feuer nicht auf einen anderen Abschnitt übergreifen konnte.



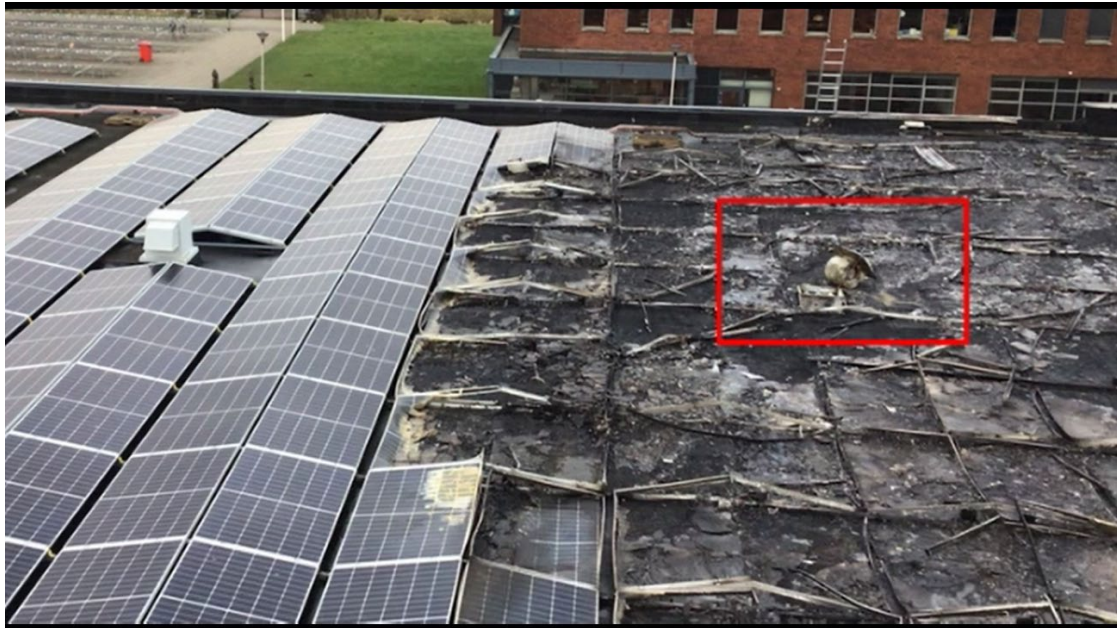


Abbildung 16 Der rot markierte Ort, an dem das Feuer ausbrach, mit einem ähnlichen Ventilator auf der linken Seite. (Quelle: Feuerwehr Gelderland-Midden)



Abbildung 17 Schäden an der PV-Anlage und am Dach (Quelle: Feuerwehr Gelderland-Midden)



Abbildung 18 Schäden an den Kabeln (Quelle: Feuerwehr Gelderland-Midden)

## 2.2 STUDIEN ZUM BRANDVERHALTEN AUF FLACHDÄCHERN MIT PV-ANLAGEN

Die durchgeführten Untersuchungen konzentrieren sich im Allgemeinen auf die Brandursache in der Schalttafel oder den zugehörigen Anlagenteilen. Es würde den Rahmen dieser Studie sprengen, auf die Brandursache bei Solarmodulen einzugehen.

Die Zahl der Studien zur Brandentwicklung unter Sonnenkollektoren ist begrenzt. Drei einschlägige Studien wurden von Efectis gefunden. Die Ergebnisse dieser Studien werden im Folgenden zusammengefasst.

### **Experimentelle Studie über das Brandverhalten von Flachdachkonstruktionen mit mehreren Photovoltaik (PV)-Paneelen, J. Steemann Kristensen und G. Jomaas.**

Die Studie wurde auf Flachdächern mit den Maßen 2,4 x 6 m und 4,8 x 6 m durchgeführt, auf denen 6 Solarzellen angebracht waren. Die Dachkonstruktion bestand aus Stahlspundwänden, 150 mm EPS-Dämmung und darüber eine 40 mm dicke PIR-Schicht oder eine 30 mm dicke Steinwollschicht. Die Isolierung wurde mit einer PVC-Dachabdeckung versehen.

Eine Holzkrippe mit einer Leistung von 30 kW wurde unter den Sonnenkollektoren befeuert. Da der Test im Freien durchgeführt wurde, hatte der Wind einen Einfluss auf den Verlauf des Tests.

Das Feuer breitete sich nach etwa 7 Minuten von der Krippe auf das Dach aus. Das Feuer breitete sich über das gesamte Feld der Solarmodule aus und reichte bei allen Tests bis etwa 1 Meter über die Oberfläche der Solarmodule hinaus, wobei Größe und Richtung unter dem Einfluss des Windes variierten.

Bei allen Tests wurde beobachtet, dass die Kunststoffteile der Stützstruktur zu brennen begannen und während des gesamten Tests weiter brannten.

An der Stelle, an der der Holzanreißer angebracht war, brannte die PIR-Dämmung durch (nach einer Stunde und drei Minuten), und an dieser Stelle begann die EPS-Dämmung zu schmelzen und zu brennen. Unter einem großen Teil der Steinwolldämmung war die EPS-Dämmung weggeschmolzen, hatte sich aber nicht entzündet. Die verwendete EPS-Dämmung entsprach nicht der Brandklasse E nach NEN 13501-1.

### **Auswirkung von aufgeständerten Photovoltaikmodulen auf die Brandklassifizierung von Dachkonstruktionen, Bob Backstrom, Mahmood Tabaddor, PhD, UL.**

In dieser Studie wurden die Auswirkungen des Vorhandenseins von Sonnenkollektoren in einem Standardtest zur Bestimmung des Brandverhaltens eines Daches gemäß UL790 untersucht.

Die Studie zeigt, dass der Abstand zwischen den Solarmodulen und dem Dach die Brandentwicklung und die Temperatur zwischen den Solarmodulen und dem Dach beeinflusst.

Bei einem Abstand von weniger als 5 cm sind die Flammenausbreitung und die Temperatur begrenzt. In einem Abstand von 25 cm und 10 cm bewegen sich die Flammen in etwa auf dem gleichen Weg entlang der Unterseite der Paneele zwischen den Paneelen und dem Dach, aber in einem Abstand von 10 cm wird die Temperatur höher, da aufgrund der begrenzten Luftzufuhr weniger Kühlung stattfinden kann. Die Brandentwicklung hängt unter anderem vom Brandverhalten der Solarmodule ab. Bei dem Test wurden die Solarmodule auf einem Schrägdach angeordnet, wobei die Solarmodule parallel zur Dachfläche angebracht wurden.

**Flammenausbreitung zwischen Flachdächern und Photovoltaikanlagen, Farah Binte Mohd Faudzi, University of Edinburgh.**

In dieser Studie wurde der Einfluss des Abstands zwischen dem Solarmodul und dem Dach auf die Flammenausbreitung in dem Raum zwischen dem Solarmodul und dem Dach untersucht.

In der Studie wurde ein 300 mm breiter PMMA-Streifen zur Darstellung der brennbaren Materialien im Dach und ein Stahlblech zur Darstellung des Solarpanels gewählt. Bei den Tests mit einer Öffnung von mehr als 20 cm zwischen den Solarmodulen und dem Dach breitete sich das Feuer mit einer Geschwindigkeit von 0,15-0,2 mm/s aus, was mit der Brandausbreitung auf einer Fläche ohne darüber liegende Solarmodule vergleichbar ist.

Bei einem Abstand von weniger als 17 cm breitet sich die Flamme bis zu 10-mal schneller aus als ohne Solarmodul über dem Dach.



### 3. ANALYSE

---

#### 3.1 BRAND-URSACHE

Die in Kapitel zwei untersuchten Brände zeigen, dass die Ursache für die Brände häufig in der Installation der Solarmodule liegt. Der Brand kann durch einen Defekt in den Solarmodulen selbst, in den Geräten unter den Solarmodulen oder den Installationsteilen unter dem Dach oder in einem Schaltkasten oder Wechselrichter, an den die Solarmodule angeschlossen sind, verursacht werden. Einer der Brände brach in einem Ventilator mit Kunststoffgehäuse aus, woraufhin das Feuer auf die Solarmodule übergreifen konnte .

#### 3.2 FEUERLAUF

Bei der Analyse des Brandverhaltens ist es wichtig, zwischen den verschiedenen beteiligten Komponenten zu unterscheiden.

An der Dachkonstruktion sind die folgenden Teile beteiligt:

- Die Unterseite der Dachkonstruktion und etwaige Lücken darin;
- Die Art der Dachisolierung;
- Die Art der Bedachung;
- Das Vorhandensein eines Schotters, z. B. Schotter oder Fliesen;
- Die Trägerstruktur der Solarmodule (Material);
- Die Sonnenkollektoren (Material, Ausrichtung);
- Wechselrichter/Schaltanlagen;
- Verkabelung.

Darüber hinaus spielen äußere Faktoren wie die Entdeckungszeit, die Löschmöglichkeiten und die Witterungsbedingungen natürlich eine wichtige Rolle für den Verlauf eines Brandes. Diese Faktoren fallen nicht in den Rahmen dieser Untersuchung.

##### 3.2.1 Brandentwicklung in den Solarmodulen

Die untersuchten Brände zeigen, dass, wenn sich Solarmodule (unabhängig von Fabrikat und Typ) in einem Abstand von etwa 0,5 Metern zueinander befinden, eine Brandentwicklung (unabhängig von der Art der Bedachung und Isolierung) über und unter den Modulen zu erwarten ist. Viele Solarmodule enthalten einen brennbaren Film, der das Feuer im Solarmodul selbst entstehen lässt.

##### 3.2.2 Feuer breitet sich über das Dach aus

Bei den meisten Bränden blieb die Brandentwicklung auf den Bereich beschränkt, in dem sich die Solarmodule befanden. Bei dem Brand in Opmeer beschränkte sich das Feuer auf den Teil des Daches, auf dem sich kein Ballast in Form von Kies befand. Bei dem Brand in Denekamp breitete sich das Feuer etwa 4 Meter vom Rand der Solarmodule entfernt aus. Auf diesem Dach wurde eine EPS-Dämmung mit einer PVC-Dachabdeckung auf ein perforiertes Stahlblech aufgebracht.

Bei dem Brand in Wateringen handelte es sich um eine EPS-Dämmung mit bituminöser Bedachung. Bei diesem Brand breitete sich das Feuer nicht über das Dach außerhalb des Solarmodulfeldes aus. Für keines der Dächer ist bekannt, welche Brandklasse erfüllt wurde und wie sich dies auf die Brandausbreitung auf dem Dach auswirkte. Die Brandausbreitung über das Dach war bei den untersuchten Bränden unabhängig von der Art der verwendeten Dämmung ähnlich. Das Feuer blieb auf den Bereich der Sonnenkollektoren beschränkt.

##### 3.2.3 Feuer breitet sich nach innen aus

Der Brand in Denekamp ist der einzige Brand, bei dem sich das Feuer durch brennende, durch das perforierte Dachblech tropfende Materialien auf das Innere des Gebäudes ausbreitete. Die Feuerwehr geht davon aus, dass sich das Feuer durch brennendes, tropfendes EPS ausbreitet.

Es stellt sich die Frage, ob es noch andere Komponenten in der Dachkonstruktion oder in den Solarmodulen gibt, die im Brandfall abtropfen könnten, wie z. B. eine mögliche PE-Folie um die Kanülenfüllung und eine dampfhemmende Folie. Es ist zu erwarten, dass der PVC-Dachbelag bei Feuer nicht tropft.

An der Trägerstruktur der Solarmodule befinden sich Kunststoffteile. Es ist nicht bekannt, aus welchem Kunststoff diese Teile bestehen, aber im Allgemeinen sind diese Teile aus Kunststoffen hergestellt, die bei Feuer abtropfen können. Es ist daher nicht völlig auszuschließen, dass einige dieser Teile in das brennende Gebäude gelangt sind. Dazu müssten allerdings erst die Dacheindeckung und die Isolierung abgebrannt/geschmolzen sein.

#### 3.2.4 Brandentwicklung in anderen Anlagenteilen

Bei dem Brand in Amsterdam entstand das Feuer in einem Schaltschrank und breitete sich dann über den Kabelkanal auf die Solarzellen aus. Dieser Brand zeigt, dass die Brandentwicklung in einem elektrischen System in Richtung der Stromquelle verläuft. Das Feuer brach im Schaltkasten aus und verursachte einen Kurzschluss in den Kabeln, die zu den Solarmodulen führen. Da die Solarmodule immer unter Spannung stehen, bewegt sich die Sicherung entlang des Kabels zum Modul, und die von der Sicherung freigesetzte Wärme setzt die umliegenden Materialien in Brand. Die Zündquelle ist erst dann weg, wenn das Solarpanel nicht mehr funktioniert. Das bedeutet, dass sich ein Feuer unabhängig von der Dacheindeckung oder der Dachisolierung immer (tagsüber, wenn die Module Strom erzeugen) über die Kabel zu den Solarmodulen und über das Solarmodulfeld ausbreiten wird. Ob sich ein Feuer weiter über das Dach ausbreitet, hängt von den im Dach verwendeten Materialien und den Anforderungen an das Brandverhalten ab.

#### 3.2.5 Brandentwicklung in der Trägerstruktur der Solarmodule

Viele Stützkonstruktionen enthalten Kunststoffteile, die zur Brandentstehung beitragen können. Im Falle des Brandes in Wieringen war die Tragkonstruktion vollständig aus Kunststoff gefertigt. Es ist nicht bekannt, welche Art von Kunststoff verwendet wurde und ob diese Konstruktion auf ihr Brandverhalten getestet wurde. Die Bilder zeigen, dass die Kunststofftragstruktur zur Entstehung des Brandes beigetragen hat.

#### 3.2.6 Schlussfolgerungen über den Verlauf des Brandes

Wenn die Solarmodule in einem Abstand von weniger als 0,5 Metern voneinander angebracht sind, ist davon auszugehen, dass sich das Feuer unabhängig von der Art der Dacheindeckung und der Isolierung über und unter den Modulen weiterentwickelt.

Wenn die Solarmodule brennen und auf dem Dach kein Ballast in Form von Kies vorhanden ist, nimmt die Dacheindeckung an der Verbrennung teil und (unabhängig von der Art der Dacheindeckung und der Isolierung) wird die Isolierung beschädigt oder nimmt an der Verbrennung teil. Außerhalb des Bereichs, in dem sich die Solarmodule befinden, ist die Brandentwicklung auf dem Dach ähnlich wie bei einem normalen Brand auf einem Flachdach und hängt von den verwendeten Materialien ab.

Bei Öffnungen in der Dachplatte, aber auch bei Durchbrüchen und Oberlichtern (wie bei dem Brand in Dieren) kann es in Verbindung mit einer EPS-Dämmung und/oder einer bituminösen Bedachung in Kombination mit einer anderen Art von Dämmung zu einer Brandausbreitung nach innen kommen.

Im Falle eines Brandes in der Anlage, die zu den Solarmodulen gehört, kann sich das Feuer entlang der Kabel auf die Solarmodule und andere Teile des Gebäudes ausbreiten, unabhängig von der Art der Dacheindeckung und der Isolierung.

Bei keinem der Brände breitete sich das Feuer über eine feuerbeständige Barriere hinaus aus.

### 3.3 SUCHE

Die Zahl der Studien, die sich mit der Brandentwicklung zwischen Solarmodulen und Dach befassen, ist sehr begrenzt. Die an einem Feld von 6 Solarmodulen mit einer EPS-Dämmung mit PIR- und Steinwollschicht darüber durchgeführten Untersuchungen geben einen Eindruck von der Brandentwicklung unter den Modulen, weisen jedoch einige Einschränkungen auf.

Die bei der Prüfung verwendete Kombination von Dämmstoffen wird in der Praxis in den Niederlanden nur selten, wenn überhaupt, verwendet.

Die Zündquelle für das Feuer ist eine Holzkrippe mit einer Leistung von 30 kW. Eine Holzkrippe strahlt Wärme nach unten ab, was sich auf das Dach auswirkt. Während des Tests war zu erkennen, dass die schwersten Schäden an der Stelle der Krippe auftraten. Es sei auch darauf hingewiesen, dass die PIR-Isolierung erst nach einer Stunde durchgebrannt ist.

Bei einem Brand in Solarzellen handelt es sich hauptsächlich um Kunststoffe, die sich (aufgrund des Schmelzens) eher wie ein flüssiges Feuer verhalten und daher weniger Strahlung an die darunter liegende Oberfläche abgeben.

Das Vorhandensein von Sonnenkollektoren über dem Dach lenkt die Flammen ab und setzt das Dach einer höheren Wärmestrahlung aus als ohne Sonnenkollektoren. Untersuchungen der Universität Edinburgh zeigen, dass sich die Geschwindigkeit der Brandausbreitung um den Faktor 10 erhöhen kann. Diese Forschung wurde übrigens in einem sehr begrenzten Maßstab durchgeführt und kann nicht eins zu eins auf einen tatsächlichen Brand unter Sonnenkollektoren übertragen werden.

Die Studien zeigen, dass das Vorhandensein von Sonnenkollektoren einen Einfluss auf die Ausbreitungsgeschwindigkeit des Feuers in dem Raum zwischen den Sonnenkollektoren und dem Dach hat. Der Abstand zwischen den Solarmodulen und dem Dach hat einen großen Einfluss auf die Temperatur und die Geschwindigkeit der Flammenausbreitung.

### 3.4 ANFORDERUNGEN AN DIE DACHKONSTRUKTION UND DIE SOLARMODULE

Die Bauverordnung 2012 stellt folgende Anforderungen an eine Dachkonstruktion einer industriellen Funktion bei Neubauten:

*Artikel 2.71. Dachfläche*

*1. Die Oberseite eines Gebäudedaches ist gemäß NEN 6063 nicht feuergefährlich. Dies gilt nicht, wenn das Gebäude kein für Personen bestimmtes Stockwerk hat, das höher als 5 m über der Messhöhe liegt, und die brandgefährdeten Teile des Daches mindestens 15 m von der Grundstücksgrenze entfernt sind. Grenzt das Grundstück, auf dem sich das Gebäude befindet, an eine öffentliche Straße, ein öffentliches Gewässer, eine öffentliche Grünanlage oder ein Grundstück, das nicht zur Bebauung oder für einen Spielplatz, einen Campingplatz oder zur Lagerung von brennbaren oder nicht umweltgefährdenden Stoffen bestimmt ist, wird dieser Abstand zur Mitte der Straße, des Gewässers, der Grünanlage oder des Grundstücks eingehalten.*

Für bestehende Gebäude gilt diese Vorschrift nicht, und bei Renovierungen ist das gesetzlich festgelegte Niveau wichtig.

In den Erläuterungen zum Baugesetz heißt es, dass mit diesem Artikel verhindert werden soll, dass das Dach eines Gebäudes durch Flugfeuer aus der Umgebung in Brand gerät. Funkenflug kann z. B. durch ein offenes Feuer oder einen Brand in einem nahe gelegenen Gebäude verursacht werden.

Die folgenden Anforderungen werden an elektrische Leitungen bei Neubauten gestellt:

*Artikel 2.69a. Elektrische Kabel und Rohrisolierungen*

*1. Abweichend von Artikel 2.67 gilt für elektrische Leitungen, die an die Raumluft angrenzen, Folgendes*

*a. Rauchklasse s1(ca) in besonders geschützten Fluchtwegen und Rauchklasse s2(ca) in anderen Räumen, jeweils bestimmt nach NEN-EN 13501-6; und*

*b. die in Tabelle 2.66 angegebene Brandklasse, ermittelt nach NEN-EN 13501-6.*

*2. Abweichend von Artikel 2.67 gilt für die an die Raumluft angrenzende Rohrisolierung Folgendes:*



- a. in besonders geschützten Fluchtwegen die Rauchklasse s1(L) und in anderen Räumen die Rauchklasse s2(L), jeweils bestimmt nach NEN-EN 13501-1; und*  
*b. die in Tabelle 2.66 angegebene Brandklasse, ermittelt nach NEN-EN 13501-1.*
- 3. Abweichend von Artikel 2.68 gilt die in Tabelle 2.66 angegebene Brandklasse, die gemäß NEN-EN 13501-6 ermittelt wurde, für ein elektrisches Kabel, das sich im Freien befindet. (Klasse B, C oder D)**
- 4. Abweichend von Artikel 2.68 gilt die in Tabelle 2.66 angegebene Brandklasse, die gemäß NEN-EN 13501-1 ermittelt wurde, für Rohrisolierungen, die an das Freie grenzen.*

Diese Anforderung gilt nicht für bestehende Gebäude, und in Bezug auf die Unterabschnitte 3 und 4 ist das rechtlich erreichte Niveau von Bedeutung. Im Falle einer Umwandlung gelten die Absätze 1 und 2 jedoch eins zu eins.

Darüber hinaus enthält die NEN 1010 verschiedene Anforderungen an elektrische Systeme und die Brandsicherheit der verwendeten Komponenten.

Die Bauverordnung enthält keine Leistungsanforderungen an das Brandverhalten von Solarmodulen und ihrer Tragkonstruktion. Die Anforderungen der Bauvorschriften für ein Dach basieren auf dem Szenario eines Funkenregens aus einem Schornstein oder einem brennenden Nachbargebäude. Die zu diesem Zweck angewandte Methode des Feuerkorbtests ist unzureichend für ein Brandszenario, bei dem die Solarmodule oder ihre tragende Struktur Feuer fangen und sich das Feuer zwischen den Solarmodulen und dem Dach ausbreiten kann.

## 4. LÖSUNGEN ZUR VERBESSERUNG DESBRANDSCHUTZES

---

Trotz der Anforderungen an die Installation von Solarmodulen und der zugehörigen Ausrüstung ist es nicht möglich, Brände vollständig zu verhindern. Der folgende Abschnitt befasst sich mit der Frage, wie die Eskalation eines Brandes verhindert werden kann, wenn er bereits ausgebrochen ist. Sie befasst sich mit der anfänglichen Entwicklung und weiteren Ausbreitung des Feuers.

### 4.1 BRANDENTWICKLUNG

#### 4.1.1 Brandursache in der Schaltanlage/im Wechselrichter

Wenn ein Feuer in einem Schaltschrank ausbricht, kann sich von dort aus ein Feuer über die Dachfläche entwickeln. Die erste Entwicklung kann gestoppt werden, indem der Schrank auf eine nicht brennbare Unterlage wie z. B. Betonplatten gestellt wird. Um den Schrank herum können z. B. zwei 30x30 cm große Betonziegelstreifen verwendet werden, um die Dachfläche abzuschirmen und die Ausbreitung des Feuers zu begrenzen.

Vom Schaltkasten aus entwickelt sich das Feuer aufgrund eines Kabelbruchs fast immer in Richtung der Solarmodule. Daher muss sichergestellt werden, dass die Kabel nicht auf der Dachfläche verlegt werden, und vorzugsweise wird eine feuerfeste Abdeckung zwischen der Kabelrinne und der Dachfläche angebracht. Dies kann z. B. auf geschehen, indem die Kabeltrasse auf einen Streifen aus Betonplatten gelegt wird.

#### 4.1.2 Brandursache in den Solarmodulen und der Ausrüstung unter den Solarmodulen

Entsteht der Brand in den Solarmodulen oder den darunter befindlichen Anlagen, muss davon ausgegangen werden, dass sich das Feuer ungehindert über das Feld der Solarmodule ausbreitet und die Dacheindeckung und die Isolierung (unabhängig von der Art der Isolierung) beschädigt.

Um die Entstehung von Bränden, insbesondere unter den Paneelen, einzuschränken, könnte die Verwendung von Kunststoffen in der Trägerstruktur der Solarmodule begrenzt werden. Wenn Metallkonstruktionen verwendet werden, ist die Entwicklung des Feuers begrenzt. Im Einklang mit der Philosophie, die hinter den Ausnahmen in der Bauverordnung steht, sollten maximal 5 % Kunststoff in der Tragstruktur verwendet werden, obwohl nicht bekannt ist, ob eine Tragstruktur ohne Kunststoff praktikabel wäre.

Eine weitere Möglichkeit besteht darin, die Solarmodule und die Tragkonstruktion in Kombination mit der Dacheindeckung mit Hilfe einer noch zu entwickelnden Prüfmethode zu bewerten. Auf der Grundlage der zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Dokuments verfügbaren Testmethoden empfiehlt Efectis zusätzlich zu den oben genannten Vorschlägen, dass die Dachkonstruktion mindestens der Klasse  $_{Broof}t1$  gemäß EN 13501-5 oder der Klassifizierung nicht brennbar gemäß NEN 6063 entsprechen sollte.

Wenn ein Dach mit Schotter bedeckt ist, empfiehlt Efectis, den Schotter oder alternativ Betonziegel auch unter den Solarmodulen zu verlegen, um zu verhindern, dass das Dachmaterial Feuer fängt und somit die weitere Brandentwicklung zu begrenzen.

Eine weitere Möglichkeit besteht darin, eine Platte zwischen den Solarmodulen und dem Dach anzubringen, die eine direkte Wärmeabstrahlung auf und einen Flammenkontakt mit der Dachabdeckung verhindert.

Darüber hinaus wird auf die NEN 7250 verwiesen, in der die Leistungsanforderungen an das Solarenergiesystem als Ganzes in seiner baulichen Anwendung formuliert sind und die derzeit überarbeitet wird. Obwohl diese Norm nicht in der niederländischen Bauverordnung aufgeführt ist, heißt es in der Norm selbst, dass sie die Grundsätze und Anforderungen in Bezug auf die Sicherheit und Nutzbarkeit von Bauwerken erfüllt. Und, dass mit der Anwendung dieses Standards im Prinzip die Bauverordnung 2012 eingehalten wird. Soweit die in diesem Bericht betrachteten Fälle nicht bereits zu einer spezifischen Empfehlung geführt haben, wird (zusätzlich) empfohlen, die Leistungsanforderungen der NEN 7250 zu verwenden.

## 4.2 FEUERWEHR

### 4.2.1 Feuer breitet sich nach innen aus

Unabhängig von der Art der Dämmung kann eine Ausdehnung nach innen durch Durchdringungen, Öffnungen in der Dachhaut und durch Dachfenster und Oberlichter auftreten. Wird ein perforiertes Dachblech in Kombination mit schmelzenden Materialien verwendet, kann eine offene Verbindung zwischen den Solarmodulen und dem Innenraum entstehen, und es besteht die Gefahr, dass sich das Feuer nach innen ausbreitet.

Wenn ein perforiertes Dachblech verwendet wird, empfiehlt Efectis, eine Barriere vorzusehen, um ein feuerfestes Dach zu schaffen und die Ausbreitung des Feuers in den Innenraum zu verhindern. Dies könnte eine feuerfeste Platte zwischen den Solarmodulen und dem Dach oder eine feuerfeste Abdeckung auf der Unterseite der Isolierung oder auf der Unterseite der Dachabdeckung sein.

Die Studie zeigt, dass bei einem geschlossenen Stahldach, unabhängig von der verwendeten Dämmung, keine Ausdehnung nach innen stattfindet.

### 4.2.2 Im Bereich von Dachfenstern und Durchführungen empfiehlt Efectis, die Solarmodule in ausreichendem Sicherheitsabstand anzubringen und Durchführungen vorzugsweise mit einer feuerfesten Vorrichtung auszustatten. Brandausbreitung auf andere Brandabschnitte

Bei keinem der Brände breitete sich das Feuer auf einen anderen Brandabschnitt aus. Ein Übergreifen des Feuers auf einen anderen Raum kann durch die üblichen feuerbeständigen Trennungen in einer Dachkonstruktion verhindert werden (Unterbrechung der brennbaren Isolierung durch Steinwolle und einen Streifen aus Betonziegeln über der feuerbeständigen Trennung). Bei Neubauten kann die Breite des Fliesenstreifens auf der Grundlage einer Betrachtung von NEN 6068 bestimmt werden.

### 4.2.3 Follow-up-Studie

Um weitere Erkenntnisse über den Verlauf eines Brandes auf einem industriellen Flachdach mit Sonnenkollektoren zu gewinnen, können die folgenden Folgestudien in Betracht gezogen werden:

- Sammeln Sie mit Hilfe der Brandermittlungsteams der Feuerwehr Informationen über Brände auf industriellen Flachdächern mit Sonnenkollektoren;
- Praktische Tests mit verschiedenen Solarmodulsystemen auf unterschiedlichen Dachtypen zur Ermittlung des Brandverhaltens;
- Praktische Tests in Kombination mit Wärmestrahlungsberechnungen zur Bestimmung des Sicherheitsabstands zwischen Sonnenkollektoren und Dachöffnungen.



ing. M.P. de Feijter  
Projektleiter Brandforschung



ir. T.G. van der Waart vanGulik  
Projektleiter Brandtechnik