



SOLIT Safety of Life in Tunnels

**Leitfaden zur ganzheitlichen Bewertung von
Tunneln mit Brandbekämpfungsanlagen
sowie deren Planung**

**am Beispiel von wasserbasierten Brandbekämpfungs-
anlagen**

**Wissenschaftlicher Abschlussbericht zum
SOLIT² Forschungsvorhaben, erstellt durch
das SOLIT² Forschungskonsortium**

**Anhang 3:
Planungsleitfaden für Brandbekämpfungs-
anlagen in Tunneln**

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

© SOLIT² Konsortium 2012

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie unter dem Förderkennzeichen 19S9008 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Dieses Dokument wurde nach bestem Wissen und mit großer Sorgfalt erstellt. Das Dokument sowie seine Anhänge sind nur für den Gebrauch durch erfahrene Brandschutzexperten bestimmt. Eine Beurteilung über die Anwendbarkeit dieses Dokuments auf seinen spezifischen Anwendungsfall muss durch den Leser erfolgen.

Alle Rechte in Bezug auf den Inhalt, insbesondere das Urheberrecht betreffend, sind vorbehalten.

Einordnung

Im Rahmen des Verbund-Forschungsprojektes SOLIT² - Safety of Life in Tunnels, gefördert vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) unter dem Förderkennzeichen 19S9008 aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages haben die Mitglieder des Forschungskonsortiums wissenschaftliche Einzelberichte zu den jeweils von ihnen bearbeiteten Teilprojekten und Arbeitspaketen erstellt. Wesentliche Ergebnisse der Einzelberichte wurden in dem vorliegenden Leitfaden zusammengefasst. Der Leitfaden wurde gemeinsam von den Konsortialmitgliedern erstellt und ist der gemeinsame wissenschaftliche Abschlussbericht des SOLIT²-Konsortiums. Daneben ist der Leitfaden ein Teil der Arbeitspakete. Die Einzelberichte sind über den Projektkoordinator erhältlich.

Impressum:

Leitfaden zur ganzheitlichen Bewertung von Tunneln mit Brandbekämpfungsanlagen sowie deren Planung am Beispiel von wasserbasierten Brandbekämpfungsanlagen **Anhang 3: Planungsleitfaden für Brandbekämpfungsanlagen in Tunneln**

Dieses Dokument ist ein Anhang zur Richtlinie „Leitfaden zur ganzheitlichen Bewertung von Tunneln mit Brandbekämpfungsanlagen sowie deren Planung“. Folgende weitere Anhänge sind verfügbar:

Anhang 1: Stand der Technik

Anhang 2: Ausgewählte Ergebnisse von Brandversuche

Anhang 4: Beispielhafte Anwendung der Risikoanalyse

Anhang 5: Sicherheitsevaluierung technischer Ausrüstung

Anhang 6: Lebenszykluskosten technischer Ausrüstung

Anhang 7: Brandversuche und Brandszenarien zur Evaluierung von BBA in Tunneln

Folgende Personen haben bei der Erstellung des Dokuments mitgewirkt:

BUNG AG, Beratende Ingenieure

Wolfgang Baltzer

Uwe Zimmermann

FOGTEC Brandschutz GmbH & Co. KG

Tobias Hoffmann

Max Lakkonen

Dirk Sprakel

Sascha Wendland

Ruhr Universität Bochum

Markus Thewes

Götz Vollmann

STUVA Studiengesellschaft für unterirdische Verkehrsanlagen e.V.

Frank Leismann

Roland Leucker

Antonio Piazzola

TÜV Süd Rail GmbH

Jürgen Heyn

Jakob Zaranek

Lutz Neumann

IFAB Institut für angewandte Brandschutzforschung GmbH

Stefan Kratzmeir

Rajko Rothe

Institut der Feuerwehr Sachsen Anhalt

Mario Koch

Horst Starke

Die Mitglieder des Forschungskonsortiums danken dem wissenschaftlichen Beirat für wertvolle Hinweise und Anregungen im Vorfeld der Durchführung der Brandversuche: Felix Amberg (ITA-COSUF), Frank Heimbecher, Jürgen Krieger (Bundesanstalt für Straßenwesen), Ingrid Ortlepp (Innenministerium Thüringen), Werner Thon (Feuerwehr Hamburg), Bernhard Koonen (Projekträger Mobilität und Verkehr des BMWI), Robert Sauter (ADAC e.V.).

Herausgeber:

SOLIT² Forschungskonsortium, bestehend aus:

BUNG AG – Beratende Ingenieure

FOGTEC Brandschutz GmbH & Co. KG

Ruhr Universität Bochum – Lehrstuhl für Tunnelbau, Leitungsbau und Baubetrieb

STUVA Studiengesellschaft für unterirdische Verkehrsanlagen e.V.

TÜV Süd Rail GmbH

Druck und Verlag:

Die Dokumente erscheinen im Eigenverlag und sind über contact@SOLIT.info erhältlich.

Köln

Version: 2.1; Bearbeitungsstand: November 2012

Der Leitfaden wird durch das Forschungskonsortium weiter überarbeitet. Neue Bearbeitungsstände können über das Forschungskonsortium unter contact@SOLIT.info angefragt werden.

Projektkoordinator: FOGTEC Brandschutz GmbH & Co. KG, Schanzenstraße 19, 51063 Köln

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	7
1.1	Vorwort	7
1.2	Zweck	7
1.3	Anwendung und Einsatz	7
1.4	Themenverwandte Dokumente.....	7
1.5	Definitionen	8
2.	BBA für Tunnel	9
2.1	Allgemeines.....	9
2.1.1	Anlagentypen	9
2.1.2	Die Wirkung von BBA in Tunneln	9
2.1.3	Ausschluss / Warnung	9
3.	Auslegung und Konstruktion	10
3.1	Generelle Anordnung von BBA.....	10
3.2	Anforderungen an die Auslegung.....	10
3.3	Auslegungsparameter und Brandversuche.....	10
3.4	Mechanische Konzeption.....	11
3.4.1	Tunnelbedingungen und Materialien	11
3.4.2	Schutz vor Beschädigungen	11
3.4.3	Wärmewirkung und Temperaturraten	11
3.4.4	Lebensdauer	12
3.5	Elektrische Konzeption	12
3.6	Hydraulische Konstruktion.....	12
3.6.1	Kapazität der Pumpenanlage	12
3.6.2	Druckverlustberechnungen.....	12
3.6.3	Druckstoß (Wasserhammer).....	12
3.6.4	Wasserqualität- und Temperatur	13
3.6.5	Spülung, Druck- und Leckageprüfung	13
3.7	Steuerung	13
3.7.1	Aufbau.....	13
3.7.2	Hauptsteuerung	13
3.7.3	Kommunikationsnetzwerk.....	13
3.7.4	Untersteuerung	14
3.8	Andere Aspekte der Auslegung	14
3.8.1	Fahrbahnentwässerung	14
3.8.2	Brandmeldung und Lokalisierung	14
3.8.3	Reaktionszeit	14
3.8.4	Lüftung	14
3.8.5	Energieversorgung	15
3.8.6	RAMS-Verfahren (Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit, Wartung und Sicherheit)	15
4.	Komponenten.....	15
4.1	Allgemeines.....	15
4.2	Düsen und andere Ausbringungsvorrichtungen.....	15
4.2.1	Installation.....	15
4.2.2	Beschriftung	15
4.2.3	Instandhaltung	15
4.2.4	Material und Temperaturtoleranzen	15

4.2.5	Filter und Schutzkappen.....	16
4.2.6	Düsensockel	16
4.3	Bereichsventile	16
4.3.1	Installation.....	16
4.3.2	Beschriftung.....	16
4.3.3	Ausführung und Instandhaltung.....	16
4.3.4	Material und Temperaturtoleranzen	17
4.3.5	Ventilschutzschrank.....	17
4.3.6	Anwendbare Normen.....	17
4.4	Pumpen.....	17
4.4.1	Installation.....	17
4.4.2	Ausführung und Instandhaltung.....	17
4.4.3	Pumpenanordnung	17
4.4.4	Beschriftung.....	17
4.4.5	Antrieb	18
4.4.6	Förderleistung.....	18
4.4.7	Sicherheitseinrichtungen	18
4.4.8	Sicherheitseinrichtungen	18
4.4.9	Verankerung	18
4.4.10	Material und Temperaturbereich	18
4.4.11	Filterung.....	18
4.4.12	Pumpensteuerung	18
4.4.13	Anwendbare Normen.....	19
4.5	Druckhaltepumpen	19
4.5.1	Installation.....	19
4.5.2	Ausführung und Instandhaltung.....	19
4.5.3	Beschriftung.....	19
4.5.4	Antrieb der Druckhaltepumpe.....	19
4.5.5	Material und Temperaturtoleranzen	19
4.5.6	Filterung.....	19
4.5.7	Anwendbare Normen.....	20
4.6	Wasserreservoirs (Tanks).....	20
4.6.1	Installation.....	20
4.6.2	Volumen des Wassertanks.....	20
4.6.3	Material	20
4.6.4	Druckerhöhungspumpe	20
4.6.5	Hauptfilter	20
4.6.6	Temperaturtoleranz	21
4.6.7	Instandhaltung	21
4.6.8	Anwendbare Normen.....	21
4.7	Rohrleitungssystem	21
4.7.1	Material	21
4.7.2	Nennndruck	21
4.7.3	Gerade Rohrleitungen und Bögen.....	22
4.7.4	Verbindungen von Rohrleitungen.....	22
4.7.5	Rohrhalterungen.....	22
4.7.6	Spül- und Entlüftungsventile.....	22
4.7.7	Thermische Anforderungen	23
5.	Installation	23
5.1	Sicherheitsaspekte.....	23
5.2	Werksseitige Arbeiten.....	23
5.2.1	Vorfertigung	23
5.2.2	Qualitätskontrolle.....	23
5.2.3	Werksprüfung	23

5.2.4	Transport.....	23
5.3	Arbeiten vor Ort	23
5.4	Inbetriebnahme	24
5.4.1	Mechanische und hydraulische Inbetriebnahme	24
5.4.2	Inbetriebnahme der elektrischen Ausrüstung und Steuerungseinrichtungen.....	24
5.4.3	Funktionale Inbetriebnahme	24
5.4.4	Notfallschulung	24
5.4.5	Revisions-Dokumentation.....	24
5.4.6	Instandhaltung / Schulung	25
5.5	Behördliche Abnahme der installierten Anlage.....	25
6.	Aktivierung und Betrieb	25
6.1	Allgemeines.....	25
6.2	Aktivierungsprinzipien	25
6.2.1	Manuelle Aktivierung	25
6.2.2	Automatische Aktivierung	26
6.3	Betrieb und Deaktivierung	26
6.3.1	Anzahl aktivierter Bereiche	26
6.3.2	Aktivierte Bereiche und Ermittlung	26
6.3.3	Mindestbetriebszeit.....	26
6.3.4	Deaktivierung	26
6.4	Ablaufprotokoll für Brandfall.....	27
7.	Inspektion und Instandhaltung.....	27
7.1	Allgemeines.....	27
7.2	Regelmäßige Instandhaltung.....	27
7.2.1	Jährliche Instandhaltung	27
7.2.2	Monatliche Instandhaltung.....	27
7.2.3	Wöchentliche Instandhaltung	27
7.3	Ersatzteile	27
8.	Haftungsausschluss.....	27
9.	Quellen	28
9.1	Abbildungen	28
9.2	Weiterführende Literatur.....	28

1. Einleitung

1.1 Vorwort

Dieser Leitfaden wurde vom Forschungskonsortium des SOLIT² (Safety-of-Life-in-Tunnels) Forschungsprojektes erarbeitet. Es handelt sich hier um einen Anhang zur Richtlinie „*Leitfaden zur ganzheitlichen Bewertung von Tunneln mit Brandbekämpfungsanlagen sowie deren Planung*“, welcher sich mit Brandbekämpfungsanlagen (BBA) als kompensatorische Maßnahme als Teil eines Tunnelsicherheitssystems im Rahmen der Personensicherheit und des Schutzes der Tunnelstruktur beschäftigt.

Der vorliegende Leitfaden befasst sich mit der technischen Auslegung von BBA in Tunneln. Er wurde auf Grundlage der Richtlinie „*UPTUN R251 Engineering Guidance for Water Based Fire Fighting Systems for Tunnels and Sub-Surface Facilities*“ erstellt, die als Teil des Europäischen Forschungsprojekts UPTUN (UPgrading methods for fire safety in existing TUNNELS, www.uptun.net) entwickelt wurde. Teile des vorliegenden Leitfadens „Anhang 3: *Planungsleitfaden für BBA in Tunneln*“ leiten sich direkt aus der Richtlinie UPTUN R251 ab. Daneben wurden Resultate des ersten, in den Jahren 2004 und 2006 durchgeführten SOLIT Forschungsprojektes als Beiträge in diesem Leitfaden verwertet. Das vorliegende Dokument richtet sich ausschließlich an ausreichend qualifizierte und erfahrene Leser, die über gute Kenntnisse von Sicherheitsanlagen sowie deren Schnittstellen und Brandschutzmaßnahmen in Tunneln verfügen. Der Anhang ist nicht dazu bestimmt nationale Normen oder Regelwerke zu ersetzen, die strengere technische Anforderungen festlegen als die hier beschriebenen. Dieser Anhang soll vielmehr als Mindeststandard für BBA angesehen werden. Sein Inhalt soll ausschließlich im Kontext des Hauptdokumentes „*Leitfaden zur ganzheitlichen Bewertung von Tunneln mit Brandbekämpfungsanlagen sowie deren Planung*“ angewendet werden.

1.2 Zweck

Ziel dieses Anhangs ist es, Mindestanforderungen zur Planung, Installation und Instandhaltung von BBA zum Schutz von Nutzern, Einsatzkräften, technischer Ausrüstung und den Tunneln selbst zu definieren. Dieses Dokument enthält keine detaillierten Hinweise zur Durchführung von Brandversuchen. Es wird jedoch vorausgesetzt, dass alle in Tunneln installierte BBA einer vorhergehenden Überprüfung im Originalmaßstab, unter kontrollierten Versuchsbedingungen, unterzogen wurden. Es

liegt in der Verantwortung des Planers, die BBA in Einklang mit den in Großbrandversuchen im Maßstab 1:1 als effektiv befundenen Parametern ausulegen und zu planen. Die zuständigen Stellen sollten die Planung vor der Installation prüfen. Planung und Installation müssen zudem die nationalen Normen erfüllen.

1.3 Anwendung und Einsatz

Die hier aufgeführten Anforderungen gelten für BBA in Straßen- und Bahntunneln. Zudem kann das Dokument auch für ähnliche Anwendungsgebiete wie Bergwerksstollen, unterirdische Bahnstationen oder Kabel- und Versorgungstunnel genutzt werden. Es liegt im Verantwortungsbereich der Planer und zuständigen Behörden, die Eignung dieses Leitfadens für spezifische Anwendungen zu prüfen und festzustellen, ob abweichende oder zusätzliche hier nicht beschriebene Maßnahmen zu ergreifen sind.

Dieses Dokument behandelt keine weiteren Brandbekämpfungsausrüstungen für Tunnel wie z.B. Hydranten, Wandschränke und tragbare Feuerlöscher.

1.4 Themenverwandte Dokumente

Relevante Normen und Regelwerke sind gegebenenfalls zu berücksichtigen. Zu diesen können neben den hier nicht aufgeführten Normen die folgenden gehören:

2004/54/EC, Minimum safety requirements for tunnels in the Trans-European road network.

EN 54-4, Fire detection and fire alarm systems.

EN 12094-1, Components for gas extinguishing systems.

EN 12259-1, Components for sprinkler and water spray systems.

EN 12845, Automatic sprinkler systems – Design, installation and maintenance.

prEN 14816, Water spray systems – Design and installation.

CEN/TS 14972, Water mist systems – Design and installation.

EN ISO 14847, Rotary positive displacement pumps – Technical requirements (ISO 14847:1999).

EN 15004-1 Gas extinguishing systems.

EN 50126: Railway applications - The specification and demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS)

IEC 61508: Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems (Parts 1-7)

97/23/EC, Pressure Equipment Directive.

2006/42/EC, Machinery Directive.

NFPA 13, Installation of Sprinkler Systems.

NFPA 20, Standard for the Installation of Stationary Fire Pumps for Fire Protection.

NFPA 502, Standard for Road Tunnels, Bridges, and Other Limited Access Highways.

NFPA 750, Standard on Water Mist Fire Protection Systems.

RABT, Richtlinie für die Ausstattung und den Betrieb von Straßentunneln, der Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen, Issue 2006.

UPTUN R251, Engineering Guidance for Water Based Fire Fighting Systems for the Protection of Tunnels and Sub Surface Facilities – Report 251, UPTUN WP2.5, 2006.

1.5 Definitionen

Additive (Zusatzstoffe) Zusatzstoff zur Beimischung in das Brandbekämpfungsmedium für z.B. die Erzeugung von Schaum, Steigerung der Löschwirksamkeit oder Vermeidung biologischen Wachstums.

AFFF Filmbildendes Schaumlöschmittel (Aqueous Film Forming Foam)

Auslegungsdruck Minimaldruck an der Düse wie bei Brandversuchen ermittelt.

Auslegungsparameter Parameter zur Definition der detaillierten Dimensionierung von BBA.

Bereich (Sektion) Eine zusammenhängende Fläche, die von einem einzigen Bereichsventil versorgten Düsennetz abgedeckt wird.

Bereichsventil Eine automatische Absperrvorrichtung, die ferngesteuert aktiviert werden kann und das Rohrnetz eines Bereichs von der Zuleitung trennt.

Brandbekämpfungsanlage (BBA) System zur Brandbekämpfung mit automatischer bzw. halbautomatischer Aktivierung über ein Steuerungssystem welches

dauerhaft in Tunneln installiert ist.

Brandversuche im Originalmaßstab Experimentelle Brandversuche in Testeinrichtungen, deren Dimensionen realen Tunneln entsprechen, mit Brandgrößen realer Größe.

BUS Netzwerk Kommunikationsnetzwerk

CFD Computer basierte Simulation von Effekten der Strömungsmechanik (Computational fluid dynamics)

Dimensionierungsparameter Parameter, die den allgemeinen Aufbau einer BBA definieren, wie beispielsweise Düsenabstand, maximale Düsenhöhe etc.

Flächenschutzanlagen Automatisch oder manuell auszulösende Brandbekämpfungsanlagen für den Schutz einer zusammenhängenden Fläche.

Hochdruckwassernebel Wassersprühstrahl mit sehr kleinen Tropfen, der bei einem Druck > 35 bar erzeugt wird.

Maximaler Druck und Mindestdruck Oberer und unterer Wert für den zulässigen Arbeitsdruck einer Komponente einer BBA.

Maximaler Pumpenbetriebsdruck Der maximal von einer Pumpe im Normalbetrieb erzeugte Druck.

Mitteldruckwassernebel Wassersprühstrahl mit kleineren Tropfen, der bei einem Druck von 12 bis 35 bar erzeugt wird.

Niederdruckwassernebel Wassersprühstrahl mit kleinen Tropfen, der bei einem Druck <12 bar erzeugt wird.

RAMS Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit, Instandhaltbarkeit, Sicherheit (Reliability, Availability, Maintainability, Safety)

SCADA Computersystem zum Überwachen und Steuern technischer Prozesse (Supervisory Control and Data Acquisition System)

Schaumsystem Brandbekämpfungsanlage, die ein Löschmittel mit einer Verschäumungszahl von > 4 einsetzt.

Schutzbereich	der Bereich, der mit Wasser versorgt wird, wenn die maximale Anzahl an Sektionen, welche die Pumpenanlage mit Mindestdruck versorgen kann, ausgelöst ist
Sicherheits-Integritätslevel (SIL)	Begriff aus dem Gebiet der Funktionalen Sicherheit, er dient der Beurteilung elektronischer Systeme in Bezug auf die Zuverlässigkeit von Sicherheitsfunktionen.
Sprühflutanlage	BBA, die Wasser bei geringem Druck über Sprühköpfe versprüht. Häufig als Sprinkieranlagen mit offenen Düsen bezeichnet.
Tunnellänge	Abstand von Tunnelportalaußenseite bis Tunnelportalaußenseite, gemessen entlang der Mittellinie der Tunnelfahrbahn.
Wärmefreisetzungsrates (HRR)	Wärmeenergie, die bei einem Brand erzeugt wird, ausgedrückt in BTU oder Megawatt (MW).
Wasserbasierte BBA	Brandbekämpfungsanlage, die mit einem auf Wasser basierendem Brandbekämpfungsmittel arbeitet.
Wassernebelanlage	BBA die Wasser in Form kleiner Tröpfchen als Brandbekämpfungsmittel beaufschlagt. Der Durchschnittsdurchmesser D_v 0,90 von Tröpfchen gemessen auf einer Fläche im Abstand von 1 m zur Düse bei deren Mindestbetriebsdruck liegt unter 1 mm.

2. BBA für Tunnel

2.1 Allgemeines

Bei einer Betrachtung von bereits installierten BBA in Tunneln, können diese Anlagen abhängig vom eingesetzten Löschmittel und der ausgeführten Funktion in unterschiedliche Klassen eingeteilt werden. Die grundlegendste Unterscheidung ist jene zwischen auf Wasser basierenden und nicht auf Wasser basierenden Anlagen. Auf Wasser basierende Anlagen können in Sprühflutanlagen und Wassernebelanlagen mit oder ohne Verwendung von Additiven unterteilt werden. Wassernebelanlagen können hinsichtlich ihrer Arbeitsdrücke variieren; man unterscheidet üblicherweise zwischen

Hoch- und Niederdruckanlagen. Nicht auf Wasser basierende Anlagen umfassen sogenannte Schaumanlagen. Alle diese Systeme sind in Tunneln zur Anwendung gekommen, den Großteil installierter BBA machen jedoch vollständig auf Wasser basierende Anlagen ohne Zusatzstoffe aus. In der Vergangenheit wurden hauptsächlich konventionelle Sprühflutanlagen verwendet, im letzten Jahrzehnt ist man jedoch vermehrt zu Wassernebelanlagen übergegangen. In Thüringen wurde ein Tunnel mit einer stationären Druckluftschaumlöschanlage ausgestattet.

2.1.1 Anlagentypen

Für detaillierte Erklärungen zu Typen von BBA und ihren Wirkungsprinzipien in Kapitel 2.4.1 des Hauptdokuments *Leitfaden zur ganzheitlichen Bewertung von Tunneln mit Brandbekämpfungsanlagen sowie deren Planung*.

2.1.2 Die Wirkung von BBA in Tunneln

Für Details zur Wirkung von BBA sowie der Verringerung von Auswirkungen auf Tunnelnutzer, Löscheinheiten und der Infrastruktur vgl. Kapitel 2.4.2 und 2.4.3 des Hauptdokuments *Leitfaden zur ganzheitlichen Bewertung von Tunneln mit Brandbekämpfungsanlagen und deren Planung*.

BBA für Tunnel sind nicht für das Löschen von Bränden sondern auf deren Unterdrückung und Kontrolle ausgelegt. BBA - Sprühflutanlagen, Wassernebelanlagen und Schaumanlagen - sind in ihrer Löschfähigkeit in und unter Fahrzeugen limitiert. Brände an diesen verdeckten Stellen können durch eine BBA nicht gelöscht werden. Der Hauptzweck von BBA liegt vielmehr darin, die Auswirkungen eines Brandes zu verringern. Auch während des Betriebes einer BBA haben fliehende Tunnelnutzer und eintreffende Notfalleinsatzkräfte mit dem Vorhandensein von Feuer zu rechnen.

2.1.3 Ausschluss / Warnung

Dieser Leitfaden beinhaltet keine Empfehlungen für Typen von BBA bei denen Sprinkler, Düsen oder andere Bauteile einzeln durch thermische Elemente wie z. B. Glasfässer aktiviert werden. In Anbetracht des Brandrisikos in Tunneln und der zu erwartenden raschen Entwicklung des Feuers und damit heißen Rauches sollten solche BBA in Tunnel nicht eingesetzt werden. In Brandversuchen wurde festgestellt, dass individuell aktivierte Sprinkler/ Wassersprühköpfe nicht dem erforderlichen Sicherheitsniveau entsprechen.

Um eine rasche, effektive und effiziente Brandbekämpfung zu gewährleisten, muss immer eine Gruppe von Düsen, die einen definierten Bereich

(Sektion) schützt, ausgelöst werden. Gleichzeitig muss mindestens eine weitere Sektion in oder gegen die Strömungsrichtung vom Brandort aktiviert werden. Daher werden Anlagen, bei denen einzeln durch Glasfässer aktivierte Düsen zur Anwendung kommen oder bei denen solche Düsen mit offenen Düsen kombiniert werden, als unzuverlässig für den Schutz von Tunneln angesehen. Dies ergibt sich auch aus den rauen Bedingungen im Tunnel, die eine Beschädigung der Glasfässer bedingen können. So können z.B. Antennen zu mechanischen Beschädigungen führen.

Der Leitfaden wie auch der vorliegende Anhang 3 befasst sich schwerpunktmäßig mit Wassernebel- und Sprühflut-BBA sowie – soweit hierzu dem Konsortium Informationen und Erkenntnisse vorlagen – auch mit Schaum-BBA. Eine Zusammenfassung der im Rahmen des SOLIT²-Forschungsvorhabens gewonnenen Erkenntnisse und Auffassungen des Forschungskonsortiums zu Schaumanlagen findet sich in den Abschnitten 2.4.1 und 3.6 des Hauptdokumentes. Aussagen zu Druckluftschaum-BBA werden hingegen im Hauptdokument wie auch im vorliegenden Anhang 3 nicht getätigt, weil hierzu den Mitgliedern des Forschungskonsortiums keine ausreichenden Informationen vorlagen. Diese Einschränkung gilt allerdings nicht für BBA bei denen dem Löschwasser ein Additiv in Form eines Filmbildners beigemischt wird und eine Verschäumungszahl von <4 besitzen.

3. Auslegung und Konstruktion

3.1 Generelle Anordnung von BBA

Die in diesem Leitfaden beschriebenen BBA sind als Flächenschutzanlagen ausgelegt. Es wird der gesamte Tunnel geschützt.

Düsen werden unter der Decke und/ oder im oberen Bereich der Seitenwände installiert.

Die Düsen werden über die Länge des Tunnels zu Bereichen oder Sektionen zusammengefasst. Die Festlegung der Bereichslängen erfolgt auf Basis von Brandversuchsdaten.

Alle Bereiche sind durch Bereichsventile und eine Hauptleitung mit der Pumpeneinheit verbunden.

Wird die BBA automatisch durch eine Brandmeldeanlage oder manuell aktiviert, wird mindestens eine Pumpe gestartet und mindestens ein Bereichsventil geöffnet. Die Pumpenanlage stellt das Löschmedium für in der Regel zwei oder drei Aktivierungsbereiche mit dem notwendigen Mindestdruck zur Verfügung.

3.2 Anforderungen an die Auslegung

Der Auslegung einer BBA müssen in jedem Fall zu Grunde liegen:

- Allgemeine Anforderungen nach Stand der Technik
- Die im Hauptdokument *Leitfaden zur ganzheitlichen Bewertung von Tunneln mit Brandbekämpfungsanlagen sowie deren Planung* beschriebenen Methoden.
- Auslegungsparameter der jeweiligen BBA.

Im Rahmen der Auswahl einer BBA für einen spezifischen Tunnel müssen die folgenden Aspekte, welche im Hauptdokument *Leitfaden zur ganzheitlichen Bewertung von Tunneln mit Brandbekämpfungsanlagen sowie deren Planung* definiert sind, mindestens berücksichtigt werden:

- Potenzielles Brandrisiko
- Schutzniveau
- Sonstige Sicherheitsmaßnahmen im Tunnel
- Tunnelgeometrie
- Lüftungs-/ Windbedingungen während eines Brandes einschließlich Interaktion mit der Notlüftung
- Art und Funktion der Brandmeldeanlagen
- Art der Aktivierung der BBA
- Einschränkungen hinsichtlich der Anordnung und Befestigung der Rohrleitungen oder Düsen
- Entfernung zu Notausgängen
- Beschilderung und Beleuchtung
- Temperaturbedingungen im Tunnel
- Besondere Anforderungen an den Tunnelbetrieb

3.3 Auslegungsparameter und Brandversuche

Alle wesentlichen Auslegungsparameter einer BBA müssen in Brandversuchen ermittelt werden. Diese Versuche müssen in dafür bestimmte, für solche Prüfungen geeignete Versuchstunnel durchgeführt werden. Die damit ermittelten Auslegungsparameter einer BBA definieren gemeinsam mit den Parametern des Testtunnels, einschließlich der in den Versuchen eingestellten Lüftungsbedingungen, die Anwendungs- und Auslegungsgrenzen der BBA, sofern nicht eine Skalierung der Parameter basierend auf den Versuchsergebnissen explizit möglich und von den zuständigen Behörden oder Stellen genehmigt ist.

Die aus den Brandversuchen abgeleiteten Parameter müssen mindestens die folgenden Aspekte abdecken:

- Düsenarten und Typen mit K-Faktoren
- Arbeitsdruck (Mindest- und Höchstdruck)
- Düsenpositionen (Abstände zu Wänden, Decken, Winkel, Ausrichtung usw.)
- Abstand zwischen Düsen (längs und quer)
- min. und max. Höhe der Installation von Düsen
- min. und max. Belüftungskonditionen
- Maximale Brandgröße zum Zeitpunkt der Aktivierung
- Zeit nach der Aktivierung bis zum vollen Betrieb
- min. und max. Bereichslängen
- min. und max. Anzahl von gleichzeitig aktivierten Bereichen

HINWEIS: Für einen speziellen Typ einer BBA sind nicht für jeden auszurüstenden Tunnel jeweils neue Brandversuche durchzuführen. Sofern die Parameter des auszurüstenden Tunnels innerhalb der Parameter eines Testtunnels liegen der für frühere Brandversuche genutzt wurde, können die ermittelten Auslegungsdaten verwendet werden. CFD Modelle dürfen Brandversuche im Originalmaßstab allerdings nicht ersetzen.

Für weitere Informationen zu den Anforderungen für Brandversuche siehe Anhang 7 und Kapitel 3.6.2 des Hauptdokumentes *Leitfaden zur ganzheitlichen Bewertung von Tunneln mit Brandbekämpfungsanlagen sowie deren Planung*.

3.4 Mechanische Konzeption

3.4.1 Tunnelbedingungen und Materialien

Die Ausrüstung in Tunneln wird auf eine lange Lebensdauer ausgelegt, wobei die Umweltbedingungen in Tunneln normalerweise hohe Anforderungen an Ausrüstung und Materialien stellen. Streusalz, hohe Luftfeuchtigkeit, eine evtl. Meeresnähe, Verschmutzung durch Abgase, Bremsabrieb, Schmutz und Staub sind typische Aspekte, die einen besonderen Korrosionsschutz erforderlich machen. Gleichzeitig sind eine angemessene Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit einer BBA sicher zu stellen. Wichtige Komponenten wie Rohre, Bereichsventile usw., die im Tunnel selber installiert werden oder in direktem Kontakt mit dem Löschmedium stehen, müssen deshalb aus Edelstahl der Güte AISI316 / W-Nr. 1.4401 oder höher ausgeführt werden. Eine korrosionsbeständige Beschichtung solcher Komponenten ist nicht ausreichend.

Details sind der ZTV-ING, Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten, Teil 5 Tunnelbau sowie der UPTUN R251 Engineering Guidance for Water Based Fire Fighting Systems for the Protection of Tunnels and Subsurface Facilities, und anderen geeigneten Richtlinien zu entnehmen.

Werden Zusätze wie Schaumkonzentrate, Frostschutzadditive oder Mittel zur Kontrolle des mikrobiellen Wachstums eingesetzt, müssen alle mit diesen Additiven in Kontakt stehenden Bauteile eine adäquate Korrosionsbeständigkeit aufweisen.

Alle verwendeten Materialien müssen mit den dokumentierten Anforderungen des Herstellers der BBA in Einklang stehen.

3.4.2 Schutz vor Beschädigungen

Alle Komponenten müssen so installiert werden dass sie vor Beschädigungen durch Fahrzeuge geschützt sind. Ist dies nicht möglich, sind die Anlagenteile in geeigneten Nischen zu installieren oder mit einem Kollisionsschutz auszurüsten. Besondere Aufmerksamkeit muss dem Hauptrohrnetz und den Bereichsventilen gewidmet werden.

3.4.3 Wärmewirkung und Temperaturraten

Bei der Auslegung mechanischer Komponenten (hier insbesondere Rohrleitungen und Bereichsventile) sind klimatisch bedingte Temperatureinflüsse zu berücksichtigen. Abhängig von der Position im Tunnel können die Temperaturen erheblich schwanken. Alle Komponenten müssen auf den Betrieb innerhalb des gesamten zu erwartenden Temperaturbereichs während des Stand-By-Betriebes ausgelegt sein.

Die Temperaturen für den Standbybetrieb sind für Tunnel von einer Länge bis zu einem Kilometer gemäß den außerhalb des Tunnels zu erwartenden Tiefst- und Höchsttemperaturen festzulegen. Bei Tunneln, die eine Länge von einem Kilometer überschreiten, können auf Basis einer geeigneten Analyse die festzulegenden Temperaturen für den inneren Bereich hiervon abweichen. Bei Komponenten, die in Notausgängen, Rettungstunneln oder Querschlägen installiert werden, können ebenfalls abweichende Betriebstemperaturen angenommen werden, sofern diese Bereiche beheizt und/ oder isoliert sind.

Ist eine Mindesttemperatur von unter 0 °C zu erwarten, ist ein geeigneter Frostschutz zu gewährleisten.

Im Brandfall steigen die Temperaturen im Tunnel rasch an. Rohrleitungen, die im Bereitschaftsbetrieb (Stand by) mit Wasser gefüllt sind, werden bereits vor der Aktivierung durch einen allerdings

begrenzten Kühleffekt geschützt. Nach der Aktivierung werden alle Rohrleitungen im Bereich des Brandes durch das Löschmedium gekühlt. Für BBA ohne Aktivierungsverzögerung sind die Auswirkungen von Temperaturen, auf vor der Aktivierung leere Rohrleitungen, unter Anwendung einer Auslegungstemperatur von mindestens 250 °C zu berücksichtigen. Bei mit Wasser vorgefüllten Rohrleitungen können klimatische Temperaturen herangezogen werden.

Bei BBA mit Aktivierungsverzögerung müssen alle sich potentiell im Brandbereich befindlichen Bauteile, unabhängig davon ob diese im Stand-by leer oder mit Wasser gefüllt sind, in der Lage sein, den erwarteten Temperaturen vor Anlagenaktivierung standzuhalten. Entsprechende Brandkurven sind zu Grunde zu legen. Das Gleiche gilt für andere Sicherheitskomponenten und Anlagen im Tunnel.

3.4.4 Lebensdauer

Die Lebensdauer mechanischer Bauteile ist projektabhängig zu definieren. Sie sollte für BBA aber mindestens 20 Jahre betragen.

3.5 Elektrische Konzeption

Die Auslegung der elektrischen Ausrüstung muss auf den entsprechenden Richtlinien zur Nutzung in Tunneln basieren, wobei die hohen Anforderungen an Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit der BBA zu berücksichtigen sind. Besondere Aufmerksamkeit ist den Betriebstemperaturen und Umgebungsbedingungen zu widmen.

3.6 Hydraulische Konstruktion

3.6.1 Kapazität der Pumpenanlage

Die Kapazität der Pumpenanlage muss ausreichend sein, um das Löschmedium und gegebenenfalls Additive gleichzeitig für die festgelegte Mindestanzahl von Bereichen / Sektionen (in der Regel zwei oder drei) bei dem festgelegten Mindestdruck an jedem Ort innerhalb der geschützten Fläche bereitzustellen.

3.6.2 Druckverlustberechnungen

Mittels geeigneter Druckverlustberechnungen ist sicherzustellen, dass der Auslegungsdruck an allen Düsen für alle möglichen hydraulischen Zustände erreicht wird. Der Auslegungsdruck muss

dem in den Brandversuchen ermittelten Mindestdruck entsprechen.

Anlagen, welche Additive nutzen, ist deren Auswirkung auf die Viskosität in Abhängigkeit der zu erwartenden Temperaturen zu berücksichtigen.

Die folgenden Normen sollten bei der Auslegung BBA als allgemeine Referenzen herangezogen werden:

- CEN/TS14972
- NFPA 750
- EN 12845

3.6.3 Druckstoß (Wasserhammer)

Die Auswirkungen von Wasserdruckstößen sind zu berücksichtigen. Wasserdruckstöße treten typischerweise in BBA auf, wenn Bereichsventile zu rasch geschlossen oder Rohrleitungen gefüllt werden. (Anlagendeaktivierung oder Wechsel eines ausgelösten Bereichs). Wasserdruckstöße treten auf, wenn Ventile vor der kritischen Ventilverschlusszeit, also jenem Zeitraum innerhalb dessen sich eine Druckwelle durch die Rohrleitungen bewegt, geschlossen werden. Alle Ventile sind daher so auszulegen dass das Auftreten dieses Phänomens vermieden wird.

Bei der Definition der kritischen Verschlusszeit t_c ist ein Sicherheitsfaktor von zwei zu berücksichtigen. Für die Berechnung der kritischen Verschlusszeit gilt:

$$t_c = 200\% \cdot \frac{2 \cdot L_{pipe}}{\sqrt{\frac{B_w}{\rho}}}$$

L_{Rohr} = Länge der Rohrleitung zwischen Ventil und Pumpenstation [m]

B_w = Elastizitätsmodul des Löschmittels (Wasser 20°: $2.1 \cdot 10^9 \text{ N/m}^2$) [N/m^2]

ρ = Dichte (Wasser 20 °C: 998 kg/m^3) [kg/m^3]

So sind bei Verwendung von Wasser beispielsweise bei einem Tunnel von 1000 m Länge mindestens 2,75 Sekunden zum Schließen der Ventile nötig, um einen Druckstoß zu verhindern. Kritische Verschlusszeiten für Ventile im Verhältnis zur Tunnellänge sind in der Abbildung 1 zusammengefasst (reines Wasser bei 20 °C).

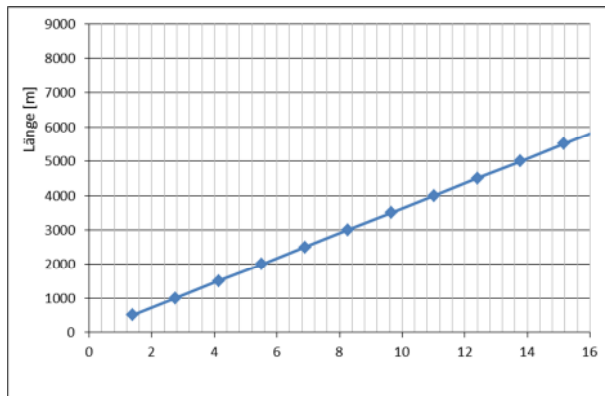


Abbildung 1: Kritische Verschlusszeit von Ventilen in Sekunden über die Tunnellänge

3.6.4 Wasserqualität- und Temperatur

Die für eine BBA notwendige Wasserqualität ist vom Hersteller festzulegen und zu dokumentieren. In der Regel ist die Qualität von Trinkwasser oder für die Feuerwehr vorgehaltenen Wassers ausreichend. Ggf. kann Meerwasser verwendet werden. In diesem Fall ist die Anlage nach einer Auslösung gründlich mit Süßwasser zu spülen.

Werden Additive eingesetzt die potentiell eine Gesundheitsgefahr darstellen können, muss den zuständigen Behörden die jeweiligen Sicherheitsdatenblätter zur Verfügung gestellt werden. Ggf. sind entsprechende Maßnahmen zu ergreifen.

Die Wasserqualität muss einmal jährlich oder gegebenenfalls öfter geprüft werden. Additive müssen mindestens zweimal jährlich geprüft werden. Befinden sich im Standbybetrieb Wasser und Additive als vorgemischte Lösung in Rohren oder Vorratsbehältern, muss sichergestellt werden, dass diese nicht in zwei Phasen ausfallen. Die ständige Rotation des Brandbekämpfungsmittels innerhalb der Rohre ist in Betracht zu ziehen um dies zu verhindern.

Die Temperatur des Brandbekämpfungsmittels darf im Standbybetrieb 54 °C weder im Rohrnetz noch in den Vorratsbehältern überschreiten.

3.6.5 Spülung, Druck- und Leckageprüfung

Das Spülen des Rohrnetzes muss gemäß den dokumentierten Anforderungen des Herstellers erfolgen. Rohrleitungen müssen während der Installation mit Stopfen verschlossen sein um den Eintritt von Fremdstoffen zu verhindern.

Das gesamte Rohrleitungssystem ist gemäß den relevanten Normen und mit dem 1,5-fachen maximalen Betriebsdruck über mindestens zwei Stunden abzudrücken. Druck- und Leckageprüfungen sind im Beisein des Auftraggebers, unabhängiger Dritter oder der zuständigen Behörde durchzuführen.

ren. Die Dokumentation der Druck- und Leckageprüfungen muss zum Zeitpunkt der Inbetriebnahme vorliegen.

3.7 Steuerung

BBA können auf unterschiedliche Weise abhängig von den geschützten Gefahren, dem Anlagentyp, der Steuerung sowie der anwendbaren Normen und Gesetzgebung betrieben werden. Diese Hauptprinzipien sind Gegenstand dieses Kapitels.

An die Steuerung sind besondere Anforderungen hinsichtlich Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit zu stellen, die mindestens denen für die Steuerung der Lüftungs- und Entrauchungsanlagen entsprechen sollten. Es wird empfohlen alle Steuerungen für sicherheitsrelevante Systeme in einem Tunnel mit einem SIL von mindestens 2 zu realisieren.

3.7.1 Aufbau

Die Steuerung besteht typischerweise aus drei Teilen: Der Hauptsteuerung, dem Kommunikationsnetzwerk und der Untersteuerung, wie in der vereinfachten Abbildung unten dargestellt.

3.7.2 Hauptsteuerung

Die Hauptsteuerung der BBA kann in die übergeordnete Steuerung des Tunnels integriert werden oder als separate Steuerung ausgeführt werden, die mit der übergeordneten Steuerung über eine entsprechende Schnittstelle verbunden ist. Beide Anlagen befinden sich meist im Kontrollraum des Tunnels.

Die Steuerung ist mit einer Benutzerschnittstelle (z.B. SCADA) vorzusehen, die dem Tunnelbetreiber im Kontrollraum und gegebenenfalls den Einsatzkräften an bestimmten Standorten zur Verfügung steht. Die Benutzerschnittstelle muss Informationen zum Status der Hauptkomponenten wie Wasserbehälter, Pumpstation und Bereichsventile übermitteln.

Die Hauptsteuerung sollte redundant aufgebaut sein, sofern dies von den zuständigen Stellen gefordert wird.

3.7.3 Kommunikationsnetzwerk

Das Kommunikationsnetzwerk ist normalerweise Teil eines BUS-Systems, welches im gesamten Tunnel und im Steuerraum installiert ist. Das Netzwerk sollte für den Fall eines Kabelbruches redundant ausgelegt werden.

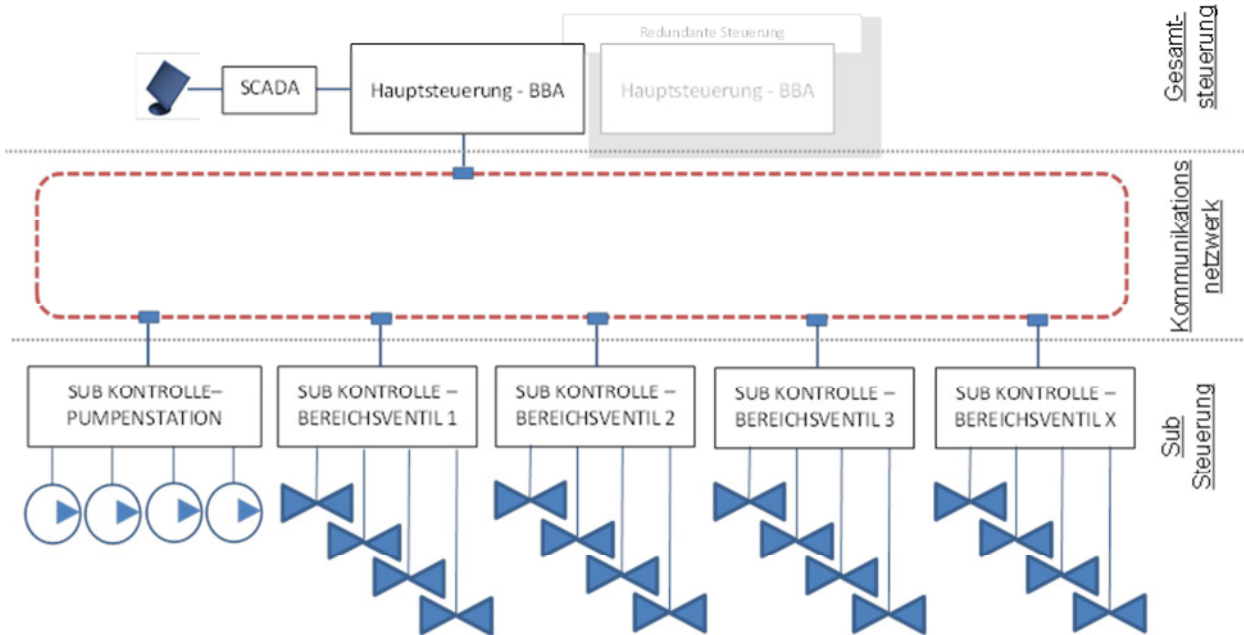


Abbildung 2: Übersicht über eine typische Steuerung einer BBA

3.7.4 Untersteuerung

Untersteuerungen werden dezentral in geschützten Bereichen wie Fluchtwegen, Feuermeldestellen und technischen Räumlichkeiten installiert.

Zur Steuerung von Bereichsventilen oder Pumpenstationen dienen Untersteuerungen, die ebenfalls in das Kommunikationsnetzwerk eingebunden sind. Daneben können Untersteuerungen Zusatzfunktionen, wie Statusüberwachungen oder Service- und Instandhaltungsfunktionen für Pumpeinheiten, Ventile usw. ausführen

3.8 Andere Aspekte der Auslegung

3.8.1 Fahrbahntwässerung

Die Fahrbahntwässerung des Tunnels ist so auszulegen, dass sie neben anderen zu berücksichtigenden Flüssigkeiten zusätzlich die maximale Ausbringungsmenge an Brandbekämpfungsmittel aufnehmen und abführen kann. Sofern Additive verwendet werden ist deren Sammlung und Entsorgung zu berücksichtigen.

Die Pumpenstationen müssen über eine Abflusskapazität verfügen die der maximalen Durchflussrate der Wasserversorgung entspricht.

3.8.2 Brandmeldung und Lokalisierung

Eine Brandmelde- und Lokalisierungsanlage ist zur Bereitstellung der notwendigen Signale zur Aktivierung der BBA innerhalb der erforderlichen Zeit und am richtigen Ort vorzusehen.

Die Brandmelde- und Lokalisierungsanlage muss Brände von >5 MW innerhalb von 60 Sekunden (wie z.B. in der RABT definiert) erkennen und mit einer in Kapitel 6.3 *Betrieb und Deaktivierung* definierten Genauigkeit lokalisieren können. Es wird empfohlen, für einen Voralarm eine Detektion mit deutlich früherem Ansprechverhalten einzusetzen.

3.8.3 Reaktionszeit

Nach Empfang des Aktivierungssignals von der Brandmelde- und Lokalisierungsanlage durch die Steuerung der BBA muss die volle erforderliche Wassermenge zur Beaufschlagung der maximal gleichzeitig zu aktivierenden Anzahl von Brandbekämpfungsbereichen (Sektionen) spätestens nach 90 sec. mit dem erforderlichen Druck in diesen Bereichen zu Verfügung stehen. Für BBA die Additive einsetzen, welche ein Gesundheitsrisiko für den Menschen darstellen, ist eine zusätzliche Verzögerungszeit zu prüfen um eine rechtzeitige Evakuierung der Tunnelnutzer zu ermöglichen. Die Dauer einer solchen zusätzlichen Verzögerung zur Personenevakuierung ist von den zuständigen Stellen wie Behörden, Feuerwehr etc. festzulegen. Grundsätzlich ist aber eine verzögerte Auslösung zu vermeiden, da diese dem Sinn und Zweck einer BBA entgegen läuft.

3.8.4 Lüftung

Die Betriebsparameter der Lüftungsanlage müssen für die Dauer des Betriebes der BBA denjenigen Parametern entsprechen, die während der Brandversuche im Rahmen der Ermittlung der Auslegungsdaten für die BBA eingesetzt wurden.

3.8.5 Energieversorgung

Die Energieversorgung der BBA muss den relevanten Normen und Gesetzen entsprechen und mindestens eine Verfügbarkeit aufweisen, wie sie für die Lüftungsanlage vorgesehen ist. Wenn die Energieversorgung diesen Anforderungen nicht entspricht müssen Dieselgeneratoren oder andere geeignete Energieversorgungen eingesetzt werden. Alternativ können Pumpen verwendet werden die mit Dieselmotoren oder anderen geeigneten Antrieben betrieben werden.

3.8.6 RAMS-Verfahren (Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit, Wartung und Sicherheit)

Hinsichtlich der Möglichkeit RAMS-Verfahren im Rahmen der Planung einer BBA zu nutzen, siehe Kapitel 3.7 des Hauptdokuments *Leitfaden zur ganzheitlichen Bewertung von Tunneln mit Brandbekämpfungsanlagen sowie deren Planung*.

4. Komponenten

4.1 Allgemeines

Es dürfen nur geeignete Bauteile für die in Tunneln zu erwartenden Einsatzbedingungen in BBA verwendet werden. Dies gilt insbesondere für die Widerstandsfähigkeit, die Wartbarkeit etc. der verwendeten Materialien. Für die Komponenten von BBA für den Einsatz in Tunneln gibt es bisher keine international anerkannten Prüfungsverfahren. Einzelfallprüfungen und die Anwendung von geeigneten Prüfungsverfahren für andere in Tunnel eingesetzte Systeme oder BBA für ähnliche Einsatzbereiche sollen die Eignung der eingesetzten Bauteile sicherstellen.

4.2 Düsen und andere Ausbringungsvorrichtungen

Düsen und andere Ausbringungsvorrichtungen sind Bauteile, die das Brandbekämpfungsmedium in den geschützten Bereichen versprühen oder verteilen. Beispiele dafür sind Sprühdüsen („Sprinklersprühköpfe“), Wassernebeldüsen und andere Ausbringvorrichtungen (im Folgenden gemeinsam als „Düsen“ bezeichnet).

4.2.1 Installation

Bei der Installation der Düsen sind die vom Hersteller dokumentierten Anforderungen sowie ggf. in allgemeinen Zulassungen definierte Vorgaben zu erfüllen.

Die Düsen sind unter der Decke oder am oberen Teil der Tunnelwände zu installieren, sodass die Möglichkeit von Beschädigungen durch Fahrzeuge als Folge von Unfällen weitestgehend ausge-

schlossen wird. Die Düsen müssen so angeordnet werden dass deren Wirkung durch Fahrzeuge nicht wesentlich beeinträchtigt werden kann. Dies ist insbesondere für BBA zu prüfen die über Düsen verfügen, die an den Seitenwänden oder in lediglich einer Reihe an der Tunneldecke angebracht sind.

Ventilatoren, Beleuchtung und Beschilderung sind weitere mögliche Behinderungen die bei der Installation der Düsen berücksichtigt werden müssen. Dies kann zu lokalen Variationen der Düsenabstände oder einer niedrigeren Installationshöhe der Düsen führen. Bereiche im Tunnel neben dem eigentlichen Fahrstreifen, z.B. Pannestreifen und -buchten, sind ebenfalls zu schützen, sofern dort Fahrzeuge erwartet werden können.

Düsen sind über die gesamte Tunnellänge vorzusehen, beginnend mit einem Abstand von maximal 10 m vom Tunneleingang (mit geschlossenen Seitenwänden), oder wie mit den zuständigen Stellen vereinbart.

4.2.2 Beschriftung

Alle Düsen müssen klar sichtbar und permanent beschriftet sein. Dafür werden Prägungen oder Gravierungen empfohlen. Die Beschriftung muss folgende Informationen aufweisen:

- Name des Herstellers
- Teilenummer
- Fertigungscharge oder Trackingnummer
- Herstellungsjahr

4.2.3 Instandhaltung

Düsen, die über keine beweglichen Teile verfügen, sollen nicht mittels einer tatsächlichen Aktivierung geprüft werden um zu verhindern dass Fremdpartikel in die Rohrleitung hinter dem Bereichsventil und in die Düse gelangen. Stattdessen sollen jährlich 0,5% der installierten Düsen aus der Installation entnommen und auf ihre Funktion hin geprüft werden. Die zu prüfenden Düsen sind so auszuwählen, dass eine sinnvolle Aussage über den Zustand der Düsen im gesamten Tunnel ermöglicht werden kann.

Düsen, die bewegliche Teile enthalten, sind vierteljährlich auf ihre Funktion zu prüfen. Die Prüfungen können z.B. durch die Verwendung von Druckluft durchgeführt werden. In diesem Fall sind die Düsen mindestens einmal im Jahr mit dem tatsächlichen Brandbekämpfungsmittel zu testen.

4.2.4 Material und Temperaturtoleranzen

Düsen müssen den Anforderungen der Tunnelumgebung gerecht werden. Nur hochwertiger Edel-

stahl darf für den Düsenkörper eingesetzt werden. Die inneren Teile der Düsen sollten ebenfalls korrosionsbeständig sein.

Düsen müssen geeignet sein hohen Temperaturen vor einer Aktivierung der Anlage standzuhalten. Ist vorgesehen dass die BBA erst nach einer signifikanten Verzögerung aktiviert werden soll, sind die Düsen für diese Belastungen auszulegen. Die Düsen müssen in diesem Fall voll funktionsfähig bleiben, auch wenn diese den Temperaturen gemäß der geltenden Standardbrandkurve für Tunnel ohne BBA ausgesetzt sind, bis die Aktivierung der BBA erfolgt.

4.2.5 Filter und Schutzkappen

Düsen sind mit einem Sieb im Zulauf auszustatten um Verstopfungen zu vermeiden. Die Maschenweite des Siebes darf nicht mehr als 80% des engsten Wasserdurchlasses innerhalb der Düse betragen. Bei Düsen, die über bewegliche Teile verfügen, darf die Maschenweite der Siebe nicht mehr als 80% der geringsten Toleranz in der Düse betragen um das Blockieren eines beweglichen Teils vorzubeugen.

Düsen können über Schutzkappen verfügen die das Eindringen von Fremdkörpern verhindern. Die Schutzkappen müssen sich bei einer Aktivierung mit weniger als 50% des Betriebsdrucks sicher entfernen.

4.2.6 Düsensockel

Düsen sind mittels Anschlusssockeln oder anderen Vorrichtungen für ein rasches und einfaches Austauschen an das Rohrnetz zu installieren. Die Düsen dürfen kein Bestandteil der Rohrleitung selber sein. Die Sockel müssen aus demselben Material bestehen wie das Rohr an dem sie installiert sind.

4.3 Bereichsventile

Bereichsventile dienen als Schnittstelle zwischen der Hauptleitung und den zu aktivierenden Bereichen. Die Bereichsventile stellen hinsichtlich der Verfügbarkeit, Zuverlässigkeit und insbesondere der Wartungskosten einen wichtigen Aspekt einer BBA dar.

4.3.1 Installation

Die Installation der Bereichsventile muss gemäß den vom Hersteller dokumentierten Anforderungen sowie ggf. in allgemeinen Zulassungen definierten Vorgaben erfolgen. Bereichsventile müssen unterhalb der Tunneldecke oder an Tunnelwänden in der Nähe der Tunneldecke installiert werden. Beschädigungen durch Fahrzeuge sind weitestgehend auszuschließen. Hierzu können

Bereichsventile auch in Notausgängen, Fluchttunneln, Belüftungstunneln oder anderen vor Schäden durch Fahrzeuge geschützten Bereichen installiert werden. In diesem Fall sind die Rohrleitungen zwischen den Ventilen vor Beschädigungen durch Fahrzeuge zu schützen.

4.3.2 Beschriftung

Bereichsventile müssen klar sichtbar und permanent beschriftet werden. Dafür werden Prägungen oder Gravierungen empfohlen. Die Beschriftung muss die folgenden Informationen aufweisen:

- Name des Herstellers
- Teilenummer
- Fertigungscharge oder Trackingnummer
- Herstellungsjahr

4.3.3 Ausführung und Instandhaltung

Bereichsventile müssen den Anforderungen der Tunnelumgebung gerecht werden. Sie müssen Leckage frei sein, um ein Verstopfen der Düsen durch Inkrustationen zu verhindern und um die Bereichsrohrleitungen trocken zu halten. Der Einsatz von Kugelhähnen wird empfohlen. Die Ventile müssen sich ferngesteuert Öffnen und Schließen lassen. Bereichsventile müssen über eine manuelle Möglichkeit zum Öffnen und Schließen verfügen. Die Drehrichtungen zum Öffnen und Schließen des Ventils muss klar auf dem Ventil oder in unmittelbarer Nähe angebracht sein. Der Ventilantrieb muss in der Lage sein ein unter allen Umständen ausreichendes Drehmoment zu gewährleisten. Eine Einrichtung zur Überwachung von Leckagen wird empfohlen.

Ventile müssen Wasserdruckstöße verhindern indem sie mit einer definierten Verzögerung öffnen (siehe Kapitel 3.6.3 *Druckstoß*).

Upstream müssen Bereichsventile mit einem separaten Absperrventil ausgestattet sein welches das Auswechseln des Bereichsventils ohne Entleerung der Hauptrohrleitung und ohne Einschränkung der sonstigen Einsatzfähigkeit der BBA ermöglicht. Jedes Bereichsventil muss über ein separates Absperrventil verfügen um zu verhindern, dass mehrere Bereiche durch das Sperren eines einzigen Absperrventils außer Betrieb gesetzt werden. Das Absperrventil muss abschließbar sein.

Besondere Aufmerksamkeit muss der Instandhaltung und Prüfung der Bereichsventile gelten. Regelmäßige Tests sollten, gemäß anwendbaren Regelungen, für solche Ventile ausgeführt werden, der Ventilbetrieb muss mindestens vierteljährlich geprüft werden. In Abhängigkeit von den Anforderungen im Rahmen einer RAMS-Betrachtung kann

ein Test auch z.B. monatlich erforderlich sein. Dabei ist der Zufluss von Brandbekämpfungsmittel in die Bereichsverrohrung und in die Düsen zu vermeiden. Dies kann z.B. Einbau eines weiteren, manuell zu bedienenden Ventils hinter dem Bereichsventil erreicht werden.

Bereichsventile müssen außerdem jährlich einer visuellen Prüfung unterzogen werden. Das Betätigen der manuellen Absperrventile muss Teil dieser jährlichen Prüfung sein.

4.3.4 Material und Temperaturtoleranzen

Die Bereichsventile und die zugehörigen Absperrventile müssen den Anforderungen der Tunnelumgebung gerecht werden und für das eingesetzte Brandbekämpfungsmittel geeignet sein. Nur Edelstahl der Klasse AISI316 oder höherwertige Materialien sollen für Teile, die mit dem Brandbekämpfungsmedium in Kontakt kommen, verwendet werden. Der Ventiltrieb muss über eine geeignete IP-Klasse verfügen.

Bereichsventile müssen mit der Minimaltemperatur des Brandbekämpfungsmittels betrieben werden können.

4.3.5 Ventilschutzschrank

Bereichsventile und zugehörige Absperrventile, welche in von der BBA geschützten Bereichen installiert sind, müssen in einem Schutzschrank installiert werden. Dieser Ventilschrank muss über einen Schutz gegen hohe Temperaturen verfügen. Die Temperatur im Inneren des Schrankes darf im Falle eines Brandes die höchstzulässige Temperatur für die Ventile und den Antrieb nicht überschreiten. Der Ventilschrank soll vorzugsweise in Brandversuchen im Originalmaßstab getestet worden sein in denen nachgewiesen wurde, dass die Temperaturen innerhalb der notwendigen Grenzen eingehalten werden konnten.

Der Ventilschrank muss zudem Schutz gegen Schmutz und Wasser gewährleisten.

Werden Temperaturen unter dem Gefrierpunkt erwartet, muss das Bereichsventil und/ oder der Schutzschrank mit einer Heizung versehen werden.

Werden Ventile außerhalb des Verkehrstunnels in Bereichen installiert in denen keine Brandgefahr besteht, benötigt der Ventilschutzschrank keine Dämmung gegen hohe Temperaturen. Es wird aber empfohlen die Ventile gegen Schmutz und Missbrauch durch die Verwendung eines geeigneten Schrankes zu schützen.

Der Ventilschutzschrank muss abschließbar sein.

Wird dieser in Verkehrstunneln installiert, so ist die äußere Hülle aus Edelstahl in ausreichender Güte herzustellen. Werden Ventile außerhalb des Verkehrsbereichs installiert kann auch pulverbeschichteter Stahl verwendet werden.

4.3.6 Anwendbare Normen

Die folgenden Normen sind als Referenz zu berücksichtigen:

- DIN EN 1983
- EN 12845

4.4 Pumpen

Die Pumpen sind, abgesehen von den Bereichsventilen, die einzigen aktiven mechanischen Teile in BBA.

4.4.1 Installation

Die Installation der Pumpen muss mit den dokumentierten Anforderungen des Herstellers übereinstimmen. Pumpen müssen in einem Pumpenraum oder in einem anderen dafür geeigneten Bereich installiert werden. Angemessene Belüftung und ein Abfluss sind zu gewährleisten. Der Pumpenraum muss abschließbar sein, um unbefugten Zutritt zu verhindern.

4.4.2 Ausführung und Instandhaltung

Pumpen, die in BBA verwendet werden, sind für gewöhnlich Kreiselpumpen oder Verdrängerpumpen. Kreiselpumpen werden typischerweise in Nieder- und Mitteldruckanlagen verwendet, wohingegen Verdrängerpumpen typischerweise in Mittel- und Hochdruckanlagen eingesetzt werden.

Der Instandhaltungsbedarf für Pumpen für BBA ist unabhängig von der Ausführungsart. Mindestens eine monatliche Funktionsprüfung mit kurzer Betriebszeit sowie eine jährliche Grundüberholung sind vorzusehen.

4.4.3 Pumpenanordnung

Mögliche Konfigurationen von Pumpenanlagen für BBA können aus einer oder mehreren Pumpen bestehen. Für jeden Pumpenraum ist eine eigene Steuerung vorzusehen.

4.4.4 Beschriftung

Pumpen müssen eindeutig gekennzeichnet sein, wobei die folgenden Informationen zu zeigen sind:

- Name des Herstellers
- Teilenummer
- Fertigungscharge oder Trackingnummer
- Herstellungsjahr

4.4.5 Antrieb

Pumpen für BBA können mit Elektro- oder Dieselmotoren oder anderen geeigneten Antrieben betrieben werden. Die Pumpe muss direkt an den Antrieb gekuppelt sein, es darf lediglich eine Pumpe pro Antrieb verwendet werden.

Die Mindestleistung des Pumpenantriebs muss der maximal notwendigen Leistung der Pumpe entsprechen.

4.4.6 Förderleistung

Die maximale Förderleistung der Pumpenanlage muss mindestens 110% des erforderlichen Nenn-durchflusses des ungünstigsten Schutzbereichs bei Gewährleistung des notwendigen Druckes betragen. Die Pumpenanlage kann aus mehreren Pumpen bestehen.

Die Anzahl der zu verwendenden Pumpen sollte durch das Festlegen einer Mindestleistung pro Pumpe begrenzt werden. Die Pumpenmindestleistung sollte 90 l/min pro Pumpe für Verdrängungspumpen und 750 l/min pro Pumpe für Zentrifugalpumpen betragen.

Der Pumpendurchfluss ist in Effektivraten anzugeben, dabei ist der volumetrische Wirkungsgrad zu berücksichtigen.

4.4.7 Sicherheitseinrichtungen

Systeme die mit Pumpen, wie z.B. Kolbenpumpen, ausgerüstet sind bei denen bauartbedingt Drücke oberhalb des zulässigen Systemdrucks auftreten können, sind mit geeigneten Maßnahmen gegen Überdruck abzusichern.

Der Druck innerhalb der BBA darf den Auslegungsdruck der Komponenten, die vom Brandbekämpfungsmittel durchströmt werden, nicht übersteigen. Die Einrichtungen zur Druckentlastung müssen in der Lage sein, den von der oder den Pumpen gelieferten Gesamtdurchfluss bei einem Druck, der der Druckstufe entspricht, komplett abzuführen.

Das hierüber abgeführte Brandbekämpfungsmittel darf nicht wieder über die Saugleitungen zur Pumpenanlage eingespeist werden, sondern ist zum Tank oder zum Abfluss zu leiten.

Jede einzelne Pumpe ist mit einer zusätzlichen Sicherheitseinrichtung auszurüsten um durch Überdruck hervorgerufene Risiken und/oder Fehlfunktionen bzw. Schädigungen der BBA zu vermeiden. Typischerweise werden hierzu Druckbegrenzungs- oder Überstromventile eingesetzt.

4.4.8 Sicherheitseinrichtungen

Pumpen, die über einen vom Druck abhängigen Durchfluss verfügen, wie z.B. Kreiselpumpen, sind mit einer Durchflusssicherheitseinrichtung auszustatten. So wird sichergestellt dass der Durchfluss im Falle eines geringeren Druckverlusts in der Rohrleitung eines Aktivierungsbereiches in der Nähe der Pumpstation begrenzt wird. Die Hauptursachen, die bei zu hohen Durchflussraten auftreten, stehen im Zusammenhang mit der Tank- und Abflusskapazität. Sind beide nach Maßgabe der höchstmöglichen Durchflussrate der Pumpen dimensioniert werden keine Durchflusssicherheitseinrichtungen benötigt.

Eine typische Durchflusssicherheitseinrichtung ist ein Durchflussregelventil oder ein aktiver Pumpenregler mit Frequenzumformer.

$$Q_{water} = 110\% \cdot n_{nozzles} \cdot K_v \cdot \sqrt{p_{min}}$$

Q_{Wasser}	Erforderliche Pumpenkapazität [l/min]
$n_{Düsen}$	Anzahl aktivierter Düsen [Teile]
K_v	Kv-Faktor der Düsen [l/min.bar-1]
p_{min}	Mindestdruck an den Düsen [bar]

4.4.9 Verankerung

Pumpen müssen ordnungsgemäß verankert werden. Die Benutzung von Schwingungsdämpfern zwischen Pumpenrahmen und dem Boden wird empfohlen.

4.4.10 Material und Temperaturbereich

Alle Pumpenteile die in Kontakt mit dem Löschmittel stehen müssen aus korrosionsbeständigem Material hergestellt sein.

Die Betriebstemperatur muss zwischen 4 und 54 °C für das Brandbekämpfungsmedium und zwischen 0 und 40 °C für den Raum betragen.

4.4.11 Filterung

Die Pumpe ist gegen Partikel im Brandbekämpfungsmedium zu schützen. Dies ist durch einen geeigneten Filter oder ein geeignetes Sieb, wie in Kapitel 4.6.5 *Druckerhöhungspumpe* beschrieben, zu gewährleisten.

4.4.12 Pumpensteuerung

An die Steuerung sind besondere Anforderungen hinsichtlich Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit zu stellen, die mindestens denen für die Steuerung der Lüftungs- und Entrauchungsanlagen entsprechen sollten. Es wird empfohlen alle Steuerungen

für sicherheitsrelevante Systeme in einem Tunnel mit einem SIL von mindestens 2 zu realisieren.

Die Pumpenanlage ist mit einer Steuerung auszustatten, die sich im gleichen Raum wie die Pumpenanlage selber befindet. Die Steuerung soll neben den Pumpen auch alle weiteren Teile der Pumpenanlage wie Befüllleinrichtungen für Wassertanks, Druckhaltepumpen, Druckerhöhungspumpen und Hauptfilter regeln.

Jede Pumpe muss manuell für Testzwecke und Notbetrieb ein- und ausgeschaltet werden können.

Die Steuerung muss über eine Phasenüberwachung und einen entsprechenden Alarm verfügen. Alle Niederspannungsemitter und Messeinrichtungen, insbesondere zur Druckmessung, sind zu überwachen. Eine batteriebetriebene Notstromversorgung für mindestens 15 min ist vorzuhalten. Das Betriebsprogramm der Steuerung muss eine Selbstdiagnose sowie geeignete Betriebsmodi umfassen.

Über eine Schnittstelle zwischen der Steuerung der Pumpenanlage und der übergeordneten Steuerung ist zu gewährleisten dass Störmeldungen und andere Signale sicher weiter geleitet werden.

4.4.13 Anwendbare Normen

Die folgenden Normen sind als Referenz zu berücksichtigen:

- EN ISO 14847
- EN 12845
- EN 12259-12
- IEC 61508

4.5 Druckhaltepumpen

Druckhaltepumpen werden eingesetzt um die Hauptleitungen mit Brandbekämpfungsmittel gefüllt zu halten und um mögliche Lecks zu erkennen.

4.5.1 Installation

Die Installation der Druckhaltepumpen muss mit den dokumentierten Anforderungen des Herstellers übereinstimmen. Druckhaltepumpen sind im Pumpenraum oder in einem anderen ausgewiesenen Bereich anzubringen. Der Installationsort muss mit einer geeigneten Belüftung und einem Ablauf ausgestattet sein. Um den Zutritt von unbefugtem Personal zu verhindern muss der Bereich abschließbar sein.

Druckhaltepumpen sind mit einem Rückschlagventil auszustatten um zu verhindern, dass im Falle einer Aktivierung der BBA Druck die Druckhaltepumpe erreicht.

4.5.2 Ausführung und Instandhaltung

Druckhaltepumpen sind in der Regel Verdrängerpumpen. Die Pumpen müssen bei einem Druckabfall der Hauptleitung selbsttätig anlaufen und selbsttätig stoppen wenn der Druck in der Hauptleitung den Sollwert erreicht. Die Drucküberwachung ist redundant auszuführen. Die Druckhaltepumpe ist in geeigneter Weise für den Falle des Auftretens eines Überdrucks zu schützen.

Die Verrohrung der Druckhaltepumpe ist mit einem Testventil zur Simulation eines Druckabfalls auszustatten.

Für die Wartung der Druckhaltepumpen sollte analog zu den Hauptpumpen vorgegangen werden.

4.5.3 Beschriftung

Pumpen müssen eindeutig gekennzeichnet sein, wobei die folgenden Informationen auszuweisen sind:

- Name des Herstellers
- Teilenummer
- Fertigungscharge oder Trackingnummer
- Herstellungsjahr

4.5.4 Antrieb der Druckhaltepumpe

Die Druckhaltepumpe muss durch einen Elektromotor angetrieben werden. Luftantriebe sind nicht zu verwenden.

Die Mindestleistung des Pumpenantriebs muss bei der geforderten Anlagenhöchstleistung liegen.

4.5.5 Material und Temperaturtoleranzen

Alle Teile der Druckhaltepumpen, die in Kontakt mit dem Brandbekämpfungsmittel stehen, müssen aus korrosionsbeständigem Material hergestellt werden. Die Verwendung von Edelstahl wird empfohlen.

Die Betriebstemperatur der Pumpen muss zwischen 4 und 54 °C für das Druckmedium und zwischen 0 und 40 °C für den Raum betragen.

4.5.6 Filterung

Die Druckhaltepumpe ist gegen mögliche Partikel im Brandbekämpfungsmittel zu schützen. Die Maschenweite darf nicht mehr als 80% des kleinsten Wasserdurchflusses der BBA betragen oder den Herstelleranforderungen entsprechen. Die Verwendung von selbstspülenden Filtern wird empfohlen.

4.5.7 Anwendbare Normen

Die folgenden Normen sind als Referenz zu berücksichtigen:

- EN ISO 14847
- EN 12845
- EN 12259-12

4.6 Wasserreservoirs (Tanks)

Das Wasserreservoir muss dafür ausgelegt sein ausreichend Wasser für alle gleichzeitig aktivierten Bereiche (typischerweise zwei oder drei) während der definierten Mindestbetriebszeit bereitzustellen.

Das Wasserreservoir kann mit Speichereinrichtungen, die für die Feuerwehr vorgehalten werden, kombiniert werden. Die Möglichkeit einer Nachfüllung der Wasserreservoirs durch die Feuerwehr ist zu prüfen.

Von der Verwendung von Vorlauftanks wird abgeraten.

4.6.1 Installation

Die Installation muss den vom Hersteller dokumentierten Anforderungen entsprechen. Relevante Normen sind zu berücksichtigen.

Wasserreservoirs sollten in der Nähe der Pumpen der BBA üblicherweise in einer Entfernung von unter 30 m vorgesehen werden.

Sie müssen mit einer Entlüftung ausgestattet sein, um Über- oder Unterdruck zu vermeiden. Diese Entlüftung muss durch einen EntlüftungsfILTER geschützt werden damit keine Partikel in den Behälter eindringen können.

Tanks müssen abgeschlossen werden um Missbrauch oder den Zugang durch unbefugte Personen zu verhindern.

Tanks müssen über einen abschließbaren Einstieg zur Instandhaltung verfügen.

Sie müssen mit einem Füllstandsensoren ausgestattet sein, der im Falle eines niedrigen Stands Alarm auslöst. Ein abschließbares Ablassventil muss am Auslass des Reservoirs zu Instandhaltungszwecken angebracht werden.

Das Reservoir muss mit Angaben zum Fassungsvermögen beschriftet sein.

4.6.2 Volumen des Wassertanks

Das Volumen des Wassertanks muss als Teil der allgemeinen Sicherheitsanalyse für jeden Tunnel auf der Grundlage der maximalen Reaktionszeit der Feuerwehren (Zeitraum bis zum effektiven Beginn der Löscharbeiten) bestimmt werden. Das Volumen des Tanks ist in Zusammenarbeit mit den zuständigen Stellen festzulegen.

Das Mindestvolumen der Wasservorhaltung muss aber einen Betrieb der BBA von mindestens 30 Minuten bei höchstmöglicher Pumpenleistung für Tunnel mit einer Länge von unter 500 m gewährleisten. Für Tunnel mit einer Länge von über 500 m ist eine Bevorratung von mindestens 60 Minuten vorzusehen. Das Vorhandensein einer Sicherheitseinrichtung, wie im Kapitel 4.4.8 *Sicherheitseinrichtung* beschrieben, ist zu berücksichtigen.

In jedem Fall muss die Wasserversorgung für die doppelte Zeitspanne die Notfalldienste benötigen um zum Brand vorzudringen ausreichen (unter Berücksichtigung der unvorteilhaftesten Umstände wie Verkehrsstauungen). Diese Mindestbetriebszeit kann von den zuständigen Stellen wie Behörden und Feuerwehr angehoben werden.

4.6.3 Material

Als Material für den Tank können beschichteter Stahl, beschichteter Beton, Edelstahl oder Kunststoff/ Verbundwerkstoffe verwendet werden. Das Material des Tanks darf keinerlei Fremdkörper erzeugen. Bei der Festlegung der Hauptfilterkapazität ist sowohl das Material des Tanks als auch der Reinheitsgrad des Wassers zu berücksichtigen.

4.6.4 Druckerhöhungspumpe

Zwischen dem Wassertank und den Pumpen der BBA ist eine Druckerhöhungspumpe zu installieren. Die Installation muss den vom Hersteller dokumentierten Anforderungen entsprechen.

Mittels der Druckerhöhungspumpe wird das Brandbekämpfungsmittel durch den Hauptfilter gepumpt und die Pumpenanlage mit einem positiven Ansaugdruck versorgt. Bei Druckerhöhungspumpen handelt es sich in der Regel um Niederdruckkreiselpumpen. Die Druckerhöhungspumpe ist mit einer 100% Redundanz zu installieren.

Druckerhöhungspumpen sind eindeutig und dauerhaft zu kennzeichnen. Eine Stempelung oder eine Gravur wird empfohlen. Die Beschriftung muss die folgenden Informationen aufweisen:

- Name des Herstellers
- Teilenummer
- Fertigungscharge oder Trackingnummer
- Herstellungsjahr

4.6.5 Hauptfilter

Der Hauptfilter ist zwischen der Druckerhöhungspumpe und den Pumpen zu installieren. Die Installation muss den vom Hersteller dokumentierten Anforderungen entsprechen.

Der Hauptfilter muss aus Edelstahl gefertigt sein und eine für den Zweck und das zu erwartende Wasserfiltrationsniveau ausreichende Kapazität verfügen. Die Maschenweite des Filters darf nicht mehr als 80% des kleinsten Wasserweges der BBA betragen oder muss den Herstelleranforderungen entsprechen. Es gelten in jedem Fall die Grenzwerte von 300 µm für Niederdruckbrandbekämpfungsanlagen und 150 µm für Hochdruckanlagen bei Verwendung herkömmlicher Düsen.

Der Hauptfilter ist mit einer automatischen Überwachung des Verschmutzungsgrades und einer entsprechenden Alarmeinrichtung auszustatten. Zusätzlich sollte eine visuelle Anzeige im Filtergehäuse den Verschmutzungsgrad anzeigen.

Der Hauptfilter muss deutlich mit den nachfolgenden Informationen gekennzeichnet sein:

- Name des Herstellers
- Teilenummer
- Fertigungscharge oder Trackingnummer
- Herstellungsjahr

4.6.6 **Temperaturtoleranz**

Der Wassertank ist so auszulegen dass einem Einfrieren des Brandbekämpfungsmittels vorgebeugt wird. Werden eine Druckerhöhungspumpe oder ein Hauptfilter in diesem Bereich installiert und besteht Frostgefahr ist eine Heizung vorzusehen.

4.6.7 **Instandhaltung**

Der Wassertank ist monatlich einer Sichtprüfung zu unterziehen. Dabei ist die Wasserqualität zu überprüfen. Alle drei Jahre ist der Tank zu leeren und nach einer Reinigung auf Beschädigungen zu prüfen. Druckerhöhungspumpen und Hauptfilter müssen mit derselben Häufigkeit wie die Hauptpumpenanlage gewartet werden.

4.6.8 **Anwendbare Normen**

Die folgenden Normen sind als Referenz zu berücksichtigen:

- EN ISO 14847
- EN 12845
- EN 12259-12

4.7 **Rohrleitungssystem**

Die Rohrleitung besteht aus der Hauptleitung und der Bereichsverrohrung. Die Hauptleitung ist im Standbybetrieb in der Regel mit Brandbekämpfungsmittel gefüllt. Sie versorgt im Falle einer Aktivierung über dann geöffnete Bereichsventile die im Standby leere (trockene) Bereichsverrohrung und

damit die dort installierten Düsen mit Brandbekämpfungsmittel.

Verbindungen umfassen alle verbindenden Komponenten wie z.B. Flansche, Verbindungsstücke und andere Verrohrungskomponenten.

Das gesamte Rohrleitungssystem ist in sicheren Bereichen des Tunnelquerschnitts anzubringen. (siehe Kapitel 3.4.2 Schutz vor Beschädigungen)

Typische, für verschiedene Teile der BBA verwendete Begriffe lauten wie folgt: Verteilerleitung, Sammelrohre und Hauptleitung (Verteilerleitung und Sammelrohre werden zusammen als Bereichsrohre bezeichnet). Diese sind in der erläuternden Abbildung 3 dargestellt.

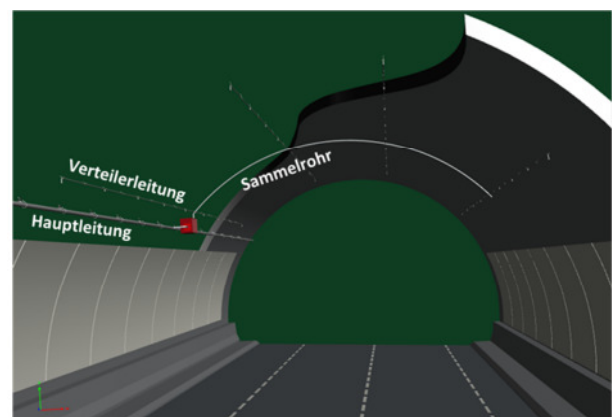


Abbildung 3: Schematisches Rohrnetz im Tunnel

4.7.1 **Material**

Das Material der Rohrleitungen und der Verbindungsstücke muss für das raue Tunnelumfeld und für das Brandbekämpfungsmittel geeignet sein. Ausschließlich Edelstahl der Güte AISI316 oder höher darf für Komponenten, die mit dem Brandbekämpfungsmittel in Kontakt kommen, verwendet werden.

Die Rohrleitungen sind mit Materialbescheinigungen zu liefern.

4.7.2 **Nennndruck**

Die Rohrleitungen der BBA müssen mindestens für den 1,5-fachen maximalen Betriebsdruck ausgelegt werden (Berechnungstemperatur 54 °C oder wie von den zuständigen Stellen festgelegt). Verfügt die BBA über eine Druckbegrenzungseinrichtung, ist der Nennndruck des Rohrleitungssystems unter Berücksichtigung des höchsten vorhersehbaren Drucks in der BBA festzulegen.

Das gesamte Rohrleitungssystem muss durch den Hersteller kontinuierlich und entlang der Gesamtlänge so gekennzeichnet werden, dass Typ und Abmessungen ersichtlich sind.

4.7.3 Gerade Rohrleitungen und Bögen

Eine Rohrleitung kann entweder nahtlos oder geschweißt sein. Soweit anwendbar müssen nahtlose Rohrleitungen der EN 10216 und geschweißte Rohrleitungen der EN 10312 entsprechen.

Rohrleitungen müssen in einer Weise hergestellt werden die ein Biegen zulässt; anderenfalls ist ein Biegen nicht zulässig.

Das Rohre sind in nahtloser Ausführung als Typ „m“ oder höher (EN 10216 Teil 5) und in geschweißter Ausführung als Typ "W1, W1R, W2, W2R" (EN 10217 Teil 7) einzusetzen.

4.7.4 Verbindungen von Rohrleitungen

Um eine lange Lebensdauer, robuste Verbindungen und niedrige Instandhaltungskosten zu erzielen, wird als primäre Verbindungstechnik Schweißen empfohlen. Geschweißte Verbindungen benötigen keine Wartung. Schweißarbeiten sind gemäß den dokumentierten Anforderungen des Herstellers durchzuführen. Ausführende Personen müssen nach den anwendbaren Abschnitten der EN 287 Teil 1 zertifiziert sein. Die Verwendung von Orbitalschweißmaschinen ist zu bevorzugen.

Die Verwendung von Gewindefittings ist innerhalb gewisser Einschränkungen und unter Einhaltung entsprechender Vorsichtsmaßnahmen zulässig. Gewindefittings und die entsprechenden Dichtungsmethoden sind für eine lange Lebensdauer auszulegen und müssen dafür geeignet zu sein, Erschütterungen und thermischen Auswirkungen standzuhalten. Die Wandstärke der Rohrleitung für Gewindeverbindungen darf nicht weniger als 3 mm betragen. Alle Gewindeverbindungen müssen jährlich auf mögliche Lecks und Dichtheit geprüft werden.

Schneidringverschraubungen oder Pressfittings können mit gewissen Einschränkungen und Vorsichtsmaßnahmen verwendet werden. Insbesondere die Toleranzanforderungen an die Außendurchmesser der Rohre müssen eingehalten werden. Schneidringverbindungen oder Pressfittings müssen den Toleranzklassen D3 oder D4 oder höher in Übereinstimmung mit EN 1127 entsprechen. In jedem Fall muss die Toleranz mit den dokumentierten Anforderungen des Herstellers übereinstimmen. Die Verbindungen müssen für eine lange Lebensdauer ausgelegt werden. und müssen dafür geeignet sein, Erschütterungen und thermischen Auswirkungen standzuhalten. Alle Schneidringverschraubungen und Pressfittings müssen einer jährlichen visuellen Kontrolle unterzogen werden.

4.7.5 Rohrhalterungen

Rohrhalterungen müssen den dokumentierten Anforderungen des Herstellers und der ISO 6182-11 mit entsprechenden Teilen entsprechen. Der Hersteller hat den Nachweis zu erbringen, dass die nachfolgenden Aspekte berücksichtigt sind:

- Gewicht
- Vibration
- Druckstoß
- Hitzebeständigkeit

Rohrhalterungen müssen für die Umgebungsbedingungen und die zu erwartenden Temperaturen, einschließlich der Belastungen durch Temperaturschwankungen im Rohrleitungssystem, geeignet sein. Sie müssen den zu erwartenden dynamischen und statischen Kräften standhalten. Insbesondere in Eisenbahntunneln müssen Schwankungen im Luftdruck, die eine aerodynamische Belastung verursachen, bei der Konstruktion berücksichtigt werden. Ein Mindestsicherheitsfaktor von 5 ist gemäß EN 12845 für die Berechnungen der statischen Belastung zu verwenden.

Das Material der Rohrhalterungen und deren Verankerung müssen für den Zweck geeignet sein und den Anforderungen der ZTV ING oder vergleichbarer Vorschriften genügen. Die Verwendung von Edelstahl wird empfohlen.

4.7.6 Spül- und Entlüftungsventile

Spül- und Entlüftungsventile müssen in Übereinstimmung mit den dokumentierten Anforderungen des Herstellers installiert werden. Die Ventile müssen Leckage frei sein. Es sind dieselben Anforderungen hinsichtlich Material, Druck und Temperatur wie für die Rohrleitungen selber zu erfüllen. Die Verwendung von Kugelhahnventilen wird empfohlen. Ventile müssen abschließbar sein wenn sie für unbefugte Personen zugänglich sind.

Ablass- und Entlüftungsventile müssen mit eindeutigen, dauerhaftem Text beschriftet sein, um die nachfolgenden Informationen auszuweisen:

- Name des Herstellers
- Teilenummer
- Fertigungscharge oder Trackingnummer
- Herstellungsjahr

Um ein Festsitzen zu verhindern sollten alle Ablass- und Entlüftungsventile mindestens einmal jährlich betätigt (geöffnet und geschlossen) werden.

4.7.7 Thermische Anforderungen

Das gesamte Rohrleitungssystem und die mit diesem verbundenen Bauteile müssen in der Lage sein, dem gesamten zu erwartenden Temperaturbereich standzuhalten (siehe Kapitel 3.4.3 für weitere Einzelheiten). Im Falle eines Frostrisikos ist die Verwendung von Frostschutzzusatz oder einer Begleitheizung in Betracht zu ziehen. Alternativ kann das Hauptrohr trocken ausgeführt werden, aber lediglich unter der Voraussetzung, dass es innerhalb der für den Betrieb erforderlichen Zeit gefüllt werden kann, siehe Kapitel 3.8.3. *Reaktionszeit*. In diesem Fall ist sicher zu stellen, dass es während des Betriebes der BBA nicht zu einem Einfrieren der Hauptleitung kommt.

Wird ein Frostschutzzusatz verwendet ist zur Zufriedenheit der zuständigen Behörden nachzuweisen, dass diese keine nachteilige Wirkung bei Bränden aufweisen und kein Gesundheitsrisiko für Tunnelnutzer darstellen.

Wird eine Begleitheizung eingesetzt muss sie durch Thermostate gesteuert werden. Ein Thermostat kann einen Tunnelabschnitt von maximal 200 m Länge steuern. Die Rohrleitung mit Begleitheizung muss isoliert ausgeführt und mit einer Verkleidung aus Edelstahl für einen mechanischen Schutz versehen werden. Der Hersteller muss der zuständigen Behörde die thermischen Berechnungen, die die Eignung der Begleitheizungsanlage nachweisen, zur Verfügung stellen.

5. Installation

5.1 Sicherheitsaspekte

Während der Installation ist der Auftragnehmer für die Sicherheit verantwortlich. Sowohl nationale Vorschriften als auch die auf der Baustelle geltenden Regeln sind zu befolgen.

5.2 Werksseitige Arbeiten

5.2.1 Vorfertigung

Typische vorgefertigte Bauteile einer BBA beinhalten:

- Bauteile: Düsen, Bereichsventile, Schränke für Bereichsventile, Stützen, Verankerungen
- Pumpstation: Pumpeneinheiten/ Pumpenaggregate, Druckerhöhungspumpeneinheiten, Druckhaltepumpeneinheiten, elektrische Schaltschränke
- Rohrleitungsmodule: Bereichsrohrleitungssätze, Hauptrohrleitungsteile

5.2.2 Qualitätskontrolle

Die Qualitätskontrolle bei werksseitigen Arbeiten muss in Übereinstimmung mit dem vom Hersteller dokumentierten Qualitätssystem (Mindestens nach ISO 9001) und den Spezifikationen des Kunden erfolgen. Der Auftragnehmer hat eine Kontrolldatei zu führen die dokumentiert, mit welchem projektbezogenen Fachpersonal werksseitige Arbeiten ausgeführt werden.

5.2.3 Werksprüfung

Die Werksprüfung ist ein wichtiger Teil der Prüfverfahren. Die folgende nicht abschließende Auflistung zeigt wichtige Elemente solcher Prüfungen für ausgewählte Komponenten:

Bereichsventile:

- Vollständige Funktionsprüfung
- Drucktest
- Leckagetest
- Prüfen eines möglichen Vorsteuerventils oder Auslösers mit Grenzastern oder anderen Kontrollsystemen.

Pumpenaggregate:

- Vollständige Funktionsprüfung bei Auslegungsdurchfluss
- Funktionsüberprüfung unter Auslegungsdruck
- Mindestprobelauf von 15 Minuten

Druckhaltepumpen:

- Vollständige Funktionsprüfung

Es wird empfohlen dass Werksprüfungen unter der Aufsicht der zuständigen Behörde, deren Vertretern oder einer unabhängigen Stelle durchgeführt werden. Das Protokoll der Werksprüfung muss vor den Prüfungen an die abnehmende Stelle zur Überprüfung übergeben werden. Nach den Werksprüfungen ist jeweils ein Prüfbericht bereitzustellen. Im Prüfbericht sind die geprüften Komponenten und die Messergebnisse zu dokumentieren.

5.2.4 Transport

Bauteile und Komponenten müssen während des Transports und der Lagerung nach dem Stand der Technik geschützt werden. Dies gilt insbesondere für Rohrleitungen und andere hydraulische Teile, deren Öffnungen zu versiegeln sind, um das Eintreten von Fremdstoffen zu verhindern.

5.3 Arbeiten vor Ort

Die Installation ist in Übereinstimmung mit den dokumentierten Anforderungen des Herstellers, den relevanten Normen und Vorschriften sowie der ab-

genommenen Ausführungsplanung auszuführen. Sämtliche Arbeiten sind im Rahmen eines dokumentierten Qualitätsmanagementsystems auszuführen, welches mindestens den Anforderungen der ISO 9001 entsprechen sollte.

5.4 Inbetriebnahme

Die Inbetriebnahme kann in verschiedenen Stufen erfolgen, auch als Teilinbetriebnahmen bezeichnet. Abschließend ist eine Funktionsabnahme durchzuführen, die alle Baugruppen der BBA, die Schnittstellen zu anderen Gewerken und Systemen im und außerhalb des Tunnels sowie das Zusammenspiel mit diesen umfasst.

Alle hiernach beschriebenen Tests und Prüfungen sind in Übereinstimmung mit vordefinierten Protokollen durchzuführen, welche den zuständigen Behörden, deren Vertretern oder einer unabhängigen Stelle rechtzeitig vor Durchführung des jeweiligen Tests zum Zwecke der Genehmigung vorzulegen sind.

5.4.1 Mechanische und hydraulische Inbetriebnahme

Die mechanische Inbetriebnahme umfasst das Prüfen der Pumpenstation, der Bereichsventile, der Düsen und des mit diesen verbundenen Rohrleitungssystems.

Vor dem Prüfen der BBA ist zu kontrollieren ob alle mechanischen und hydraulischen Bauteile auf den Zeichnungen korrekt abgebildet und fachgerecht installiert sind.

Der erste Teil der mechanischen und hydraulischen Inbetriebnahme umfasst Spül- und Druckprüfungen, wie sie in Kapitel 3.6.5 beschrieben sind.

Der zweite Teil der Prüfung im Rahmen der Inbetriebnahme betrifft den Betrieb der BBA. Die hydraulisch am ungünstigsten gelegenen Brandbekämpfungsbereiche sind in der gemäß Abschnitt 6.3.1 festgelegten Anzahl zu aktivieren, um die Vorgaben der hydraulischen Planung durch Messung des Betriebsdrucks an oder in der Nähe der am weitesten entfernten Düse zu überprüfen. Der tatsächlich gemessene Druck darf nicht geringer sein als in den hydraulischen Berechnungen gezeigt. Der Test muss mit dem Brandbekämpfungsmittel und, soweit vorgesehen, mit Additiven durchgeführt werden, um den tatsächlichen Betrieb der Anlage zu simulieren.

Die Pumpenstation und die Bereichsventile sowie andere Steuerungsgeräte sind in den Tests automatisch auszulösen. Der Testbetrieb ist für mindestens 30 Minuten aufrecht zu erhalten. Während dieser Zeit sind übermäßige Vibrationen, Geräusche, Bewegungen, Lecks oder andere Effekte zu dokumentieren.

sche, Bewegungen, Lecks oder andere Effekte zu dokumentieren.

5.4.2 Inbetriebnahme der elektrischen Ausrüstung und Steuerungseinrichtungen

Die elektrische Inbetriebnahme umfasst die Prüfung der Steuerung und der Steuerungssoftware.

Vor der tatsächlichen Prüfung müssen alle elektrische und elektronischen Bauteile und die Verkabelung auf die Einhaltung der genehmigten Ausführungsplanung sowie der Spezifikationen hin kontrolliert werden.

Betriebsprüfungen müssen mindestens die Pumpenstation(en) und alle Bereichsventile beinhalten. Für die Pumpenstation ist eine vollständige Funktionsprüfung mit einem simulierten Aktivierungssignal durchzuführen. Alle anderen möglichen Szenarien und Redundanzmodi, wie z.B. das Versagen einer Pumpe oder eines Drucksensoren, eines Kabelbruchs usw. sind zu simulieren.

5.4.3 Funktionale Inbetriebnahme

Die funktionale Inbetriebnahme umfasst die Hauptbetriebsprüfung mit einer Simulation eines oder mehrerer Brandszenarien (ohne die Anwendung echten Feuers). Die BBA und das gesamte Sicherheitskonzept sind in der Gesamtheit und gemeinsam zu prüfen. Die Tests müssen für den Nachweis geeignet sein, dass sämtliche Anlagenteile, einschließlich der Meldeanlage, der Steuer- und Kommunikationsanlage, der Wasserversorgung und anderer damit verbundener Anlagen vollständig betriebsbereit sind.

Die funktionale Inbetriebnahme sollte als Teil einer Notfallübung erfolgen, bei der neben der kompletten Betriebstechnik des Tunnels auch Rettungskräfte und andere involvierte Stellen einbezogen werden.

5.4.4 Notfallschulung

Eine Notfallschulung ist eine empfohlene Übung in der alle Sicherheitsanlagen des Tunnels einschließlich der BBA vom Betriebspersonal und den Rettungskräften in einem simulierten Brandfall unter realistischen Bedingungen gesteuert werden. Die Schulung der Notfalldienste im Umgang mit der BBA ist ein wichtiger Teil der Sicherstellung des effektiven und sicheren Einsatzes der BBA.

5.4.5 Revisions-Dokumentation

Die Revisions-Dokumentation muss mindestens sämtliche Abnahmeerklärungen, Prüfprotokolle, hydraulischen Berechnungen, Bestandszeichnungen, die Nachweise zur Auslegung der BBA sowie

Wartungsanforderungen inkl. Ersatzteilnummern umfassen.

5.4.6 Instandhaltung / Schulung

Für die wiederkehrenden Instandhaltungsarbeiten ist das Instandhaltungspersonal mindestens im folgenden Umfang zu schulen:

- Aufbau und Betrieb der BBA
- Wiederkehrende Probeläufe und Tests
- Diagnose grundlegender Fehlfunktionen
- Austausch von für einen vereinfachten Austausch vorgesehenen Bauteilen
- Einleitung des Eingriffs eines Fachunternehmens

5.5 Behördliche Abnahme der installierten Anlage

BBA sind von der zuständigen Behörde, deren Vertretern oder einer unabhängigen Stelle abzunehmen. Insbesondere ist die Übereinstimmung der Ausführung der BBA mit den aus den Brandversuchen abgeleiteten Auslegungsparametern sowie die Einhaltung der relevanten gesetzlichen Bestimmungen und behördlichen Vorgaben zu bestätigen.

6. Aktivierung und Betrieb

6.1 Allgemeines

BBA können abhängig von der Verfügbarkeit geschulten Personals, des zu erwartenden Risikos, dem Typ der BBA, der Steuerung und der an-

wendbaren Gesetzeslage manuell oder automatisch aktiviert und betrieben werden. In diesem Kapitel werden hierzu grundsätzliche Aspekte erläutert.

6.2 Aktivierungsprinzipien

6.2.1 Manuelle Aktivierung

Eine Voraussetzung für eine manuelle Aktivierung und Betrieb ist ein rund um die Uhr besetzter Kontrollraum. Manuell betriebene BBA werden vom Betreiber oder den Feuerwehren aktiviert und gesteuert. Einem manuellen Betrieb darf nur zugestimmt werden, wenn die BBA mit einer Steuerung ausgestattet ist, die ausreichende Informationen über den Brandverlauf zur Verfügung stellt, und über ausreichend geschultes Personal verfügt, um von diesen ausgehend sichere Entscheidungen treffen zu können. Das Betriebspersonal ist so lange zuständig bis die Feuerwehr eingetroffen ist. Der manuelle Betrieb von BBA beinhaltet die Deaktivierung von Bereichen und die anschließende Aktivierung anderer Bereiche im Verlauf der Brandentwicklung.

Es wird empfohlen, manuell betriebene BBA zusätzlich mit automatischen Aktivierungsmitteln auszustatten. Die automatische Auslösung erfolgt dann bei einer Temperatur, die über der von auf vollständig automatischen Betrieb ausgelegten Anlagen liegt. In diesem Fall wäre von der manuellen Aktivierung auszugehen; sollte diese nicht erfolgen, wird die Anlage dennoch bei einer vorbestimmten (höheren) Temperatur aktiviert werden.

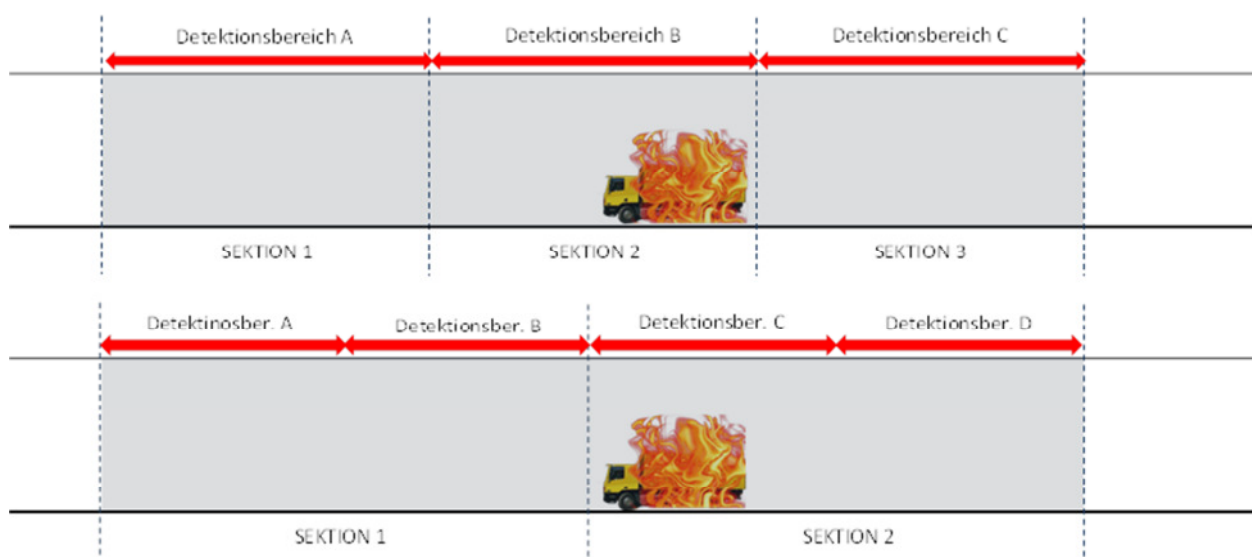


Abbildung 4: Lokalisierung und Aktivierung des vorgesehenen Bereichs

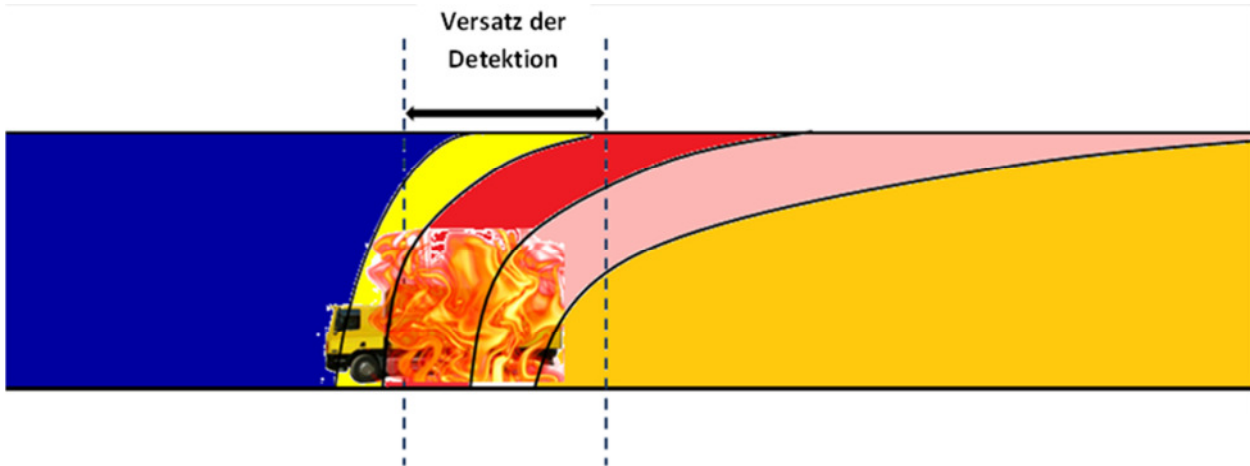


Abbildung 5: Versatz zwischen Brandherd und Anzeige durch die Detektion

6.2.2 Automatische Aktivierung

Automatische BBA werden basierend auf Signalen der Brandmelde- und Lokalisierungsanlage sowie der Steuerung aktiviert und betrieben. Diese Signale müssen es der Steuerung der BBA ermöglichen, die zu aktivierenden und zu schließenden Bereiche automatisch zu erkennen und anzusteuern. Der automatische Betrieb bleibt aktiviert bis die Feuerwehr eintrifft und die manuelle Kontrolle über die BBA übernimmt. Eine automatische BBA ist stets zusätzlich mit einer Einrichtung zur manuellen Aktivierung und Betrieb auszustatten, welche im Notfall einzusetzen ist.

6.3 Betrieb und Deaktivierung

6.3.1 Anzahl aktivierter Bereiche

Mindestens zwei Brandbekämpfungsbereiche der BBA müssen im Falle eines Brandes aktiviert werden. Die empfohlene Mindestlänge eines Bereiches beträgt 20 m. Werden drei Bereiche aktiviert, kann die Länge des Bereichs unter der Voraussetzung kürzer sein, dass die Gesamtaktivierungslänge mindestens 50 m beträgt. In jedem Fall muss die Gesamtaktivierungslänge von den Ergebnissen der Brandversuche im Originalmaßstab und der Risikoanalyse, unter Berücksichtigung der Genauigkeit der Melde/ Lokalisierungsanlage und anderer Aspekte, abgeleitet werden. Sie kann signifikant über den vorgenannten 50 m liegen. (vgl. Abbildungen 4 und 5)

6.3.2 Aktivierte Bereiche und Ermittlung

Die Anzahl der aktivierten Bereiche muss in Abhängigkeit der Genauigkeit der Brandmelde- und Lokalisierungsanlage stehen. Werden im Normalfall drei Bereiche aktiviert, darf die Ortsauflösung der Brandmelde- und Lokalisierungsanlage nicht

größer als eine Bereichslänge sein. Die beiden an den Bereich, in dem der Brand gemeldet wurde, angrenzenden Bereiche sind in diesem Fall stets mit zu aktivieren.

Werden nur zwei Bereiche aktiviert, darf die Ortsauflösung der Brandmelde- und Lokalisierungsanlage höchstens die Hälfte der Bereichslänge betragen.

Eine genauere Lokalisierung wird empfohlen, um einen besseren Anschluss darüber zu erhalten, welche angrenzenden Bereiche zu aktivieren sind. Daneben sind Informationen zum Ort und ggf. zur Entwicklungsrichtung eines Brandes für den Einsatz der Feuerwehr von großer Bedeutung. Die Ortsauflösung sollte im Bereich von 1 bis 5 m liegen.

Wird ein linearer Wärmemelder verwendet ist es wichtig, den Versatz, der durch die Ablenkung der Thermik des Brandes durch den Luftstrom entsteht, bei der Programmierung der Steuerung zu berücksichtigen.

Es wird empfohlen die BBA in Brandversuchen zusammen mit dem Typ der verwendenden Brandmelde- und Lokalisierungsanlage zu prüfen. Die so gewonnenen Daten stellen die Basis für die Programmierung dar.

6.3.3 Mindestbetriebszeit

Die Mindestbetriebszeit der BBA muss in der Risikoanalyse für den jeweiligen Tunnel festgelegt werden. Siehe hierzu *Kapitel 4.6.2* Volumen des Wassertanks

6.3.4 Deaktivierung

BBA dürfen nur durch Feuerwehren oder autorisiertes Personal deaktiviert werden.

6.4 Ablaufprotokoll für Brandfall

Für den Brandfall ist ein Ablaufprotokoll für alle im Notfall zum Einsatz kommenden Parteien zu erstellen. Das Protokoll ist gemeinsam mit allen an Rettungs- und Notfallaktivitäten beteiligten Parteien zu erarbeiten. Es hat gesetzlichen Vorgaben zu berücksichtigen und muss von den zuständigen Behörden genehmigt sein. Das Ablaufprotokoll definiert sowohl die Verantwortlichkeiten als auch die Aufgaben, die von den beteiligten Parteien im Zusammenhang mit dem Einsatz der BBA auszuführen sind.

7. Inspektion und Instandhaltung

7.1 Allgemeines

Um den zuverlässigen Betrieb der BBA sicherzustellen ist ein regelmäßiges Instandhaltungsprogramm zu implementieren. Die Instandhaltung muss in Einklang mit dem vom Hersteller bereitgestellten Instandhaltungshandbuch erfolgen. Nur autorisiertes und vom Hersteller geschultes Personal darf mit Instandhaltungsarbeiten betraut werden.

Das Inspektionsprogramm des Betreibers muss sicherstellen dass Fehler frühzeitig erkannt werden, um eine Korrektur zu ermöglichen. Die Steuerung der BBA soll die Historie der Wartungs- und Instandhaltungsmaßnahmen, die Laufzeiten der Pumpenanlage, Fehlerberichte usw. automatisiert dokumentieren.

Die Software soll Anweisungen für zu ergreifende Maßnahmen beim Auftreten von technischen Fehlern und Fehlfunktionen anzeigen.

7.2 Regelmäßige Instandhaltung

Instandhaltungsarbeiten sind in Bezug auf deren Häufigkeit üblicherweise in drei Gruppen unterteilt.

7.2.1 Jährliche Instandhaltung

Die jährliche Instandhaltung soll eine detaillierte Überprüfung aller Bestandteile der BBA umfassen. Die BBA ist dabei zusammen mit anderen Sicherheitssystemen mittels geeigneter Tests zu prüfen.

Daneben sind mindestens die folgenden Maßnahmen durchzuführen:

- Pumpenstationen:
 - Prüfung der Wasserqualität
 - Reinigung bzw. Erneuerung der Hauptfilter
 - Ölwechsel an den Pumpen/ Dieselmotoren
 - Prüfung der Batterien
 - Prüfungen der Software

- Bereichsventile und Schutzkästen:
 - Visuelle Prüfung
 - Reinigung
- Düsen:
 - Visuelle Prüfung
 - Stichprobenartige (0,5%) genaue Überprüfung einzelner Düsen
- Kontrollsysteme:
 - Prüfung der Schnittstellen
 - Prüfung der Software

7.2.2 Monatliche Instandhaltung

Die monatliche Instandhaltung soll sicherstellen, dass alle Anlagenteile funktionsfähig sind. Mit geeigneten Prüfungen sind alle aktiven Teile der Anlage zu testen. Kritische passive Anlagenteile sind in der Regel visuell zu überprüfen.

Mindestens sind die folgenden Maßnahmen durchzuführen:

- Pumpenstationen:
 - Überprüfung der Filter
 - Testlauf der Pumpen
- Bereichsventile und Schutzkästen:
 - Prüfung der Bereichsventile
- Düsen:
 - Nur wenn es sich um aktive Komponenten handelt, ist eine Funktionsprüfung erforderlich

7.2.3 Wöchentliche Instandhaltung

Sofern nicht vom Hersteller gefordert ist keine wöchentliche Instandhaltung erforderlich. Eine visuelle Überprüfung der Pumpenanlage wird empfohlen.

7.3 Ersatzteile

Wesentliche Ersatzteile müssen vor Ort vorgehalten werden. Ist die BBA für eine vordefinierte Zielverfügbarkeit ausgelegt, ist die Zusammensetzung der zu bevorratenden Ersatzteile im Rahmen einer RAMS Analyse zu ermitteln.

8. Haftungsausschluss

Dieser Planungsleitfaden stellt keine gesetzliche Regelung dar. Er gibt Ergebnisse des Forschungsprojekts SOLIT² und anderer Forschungsprojekte sowie Wissen und Erfahrungswerte von Fachleuten wieder. Weitere derzeit ausgeführte oder geplante Forschungsprojekte können die im vorliegenden Dokument enthaltenen technischen Empfehlungen ändern.

Alle Informationen, Anleitungen, Empfehlungen und Daten wurden mit angemessener Sorgfalt erstellt und zusammengestellt. Es liegt einzig und allein im Verantwortungsbereich des Lesers, für jeden Einzelfall festzustellen, ob dieses Dokument für eine konkrete Anwendung geeignet ist und dessen Inhalt im Zusammenhang mit einem spezifischen Projekt genutzt werden kann. Bei dem Leser hat es sich um einen Experten auf dem Gebiet des Tunnelbrandschutzes zu handeln.

9. Quellen

9.1 Abbildungen

Sofern nicht anders angegeben, sind die Abbildungen in den vorliegenden Dokumenten von den Partnern des SOLIT² Konsortiums urheberrechtlich geschützt. Im Falle aller anderen Abbildungen ist ein Verweis auf die Gesamtquelle angegeben. Der Gebrauch basiert auf dem deutschen UrhG §51 Nr.1.

9.2 Weiterführende Literatur

Die hier aufgeführten Quellen können im Rahmen wissenschaftlicher Arbeiten über den Projektkoordinator angefordert werden, sofern diese öffentlich zugänglich sind und nicht einer Vertraulichkeit unterliegen.

Beard A. and Carvel R. (editors), "Handbook of Tunnel Fire Safety", 2nd Edition, ICE Publishing, The United Kingdom, November 2011.

Bouthors B. "Eurotunnel – SAFE Stations" International Conference on Safety in Life in Tunnels" Berlin July, 2012.

Cesmat, E. et al. "Assessment of Fixed Fire-Fighting Systems for Road Tunnels by Experiments at Intermediate Scale", Proc. of 3rd International Symposium on Tunnel Safety & Security. Stockholm, Sweden, 2008.

CETU, "Water Mist in Road Tunnels", Information document, France, 2010.

Christensen, E., "UPTUN Guidance – Minimum requirements for Fire Suppression Systems in Tunnels", IWMA Conference on Fire Suppression in Tunnels, Munich, Germany, April 2-3, 2008.

Haack, A., Lakkonen, "Fire Suppression in Rail Tunnels – 3rd party tasks and execution with case

Eurotunnel SAFE", KVIV seminar, Antwerp, Belgium, November 23, 2010.

Haack, A. "Position of PIARC – Latest discussion and views on Fixed Fire Suppression Systems", 3rd International conference on Tunnel Safety and Ventilation, Graz, Austria, May 15-17, 2006.

Husted, B. "Experimental Measurements of Water Mist Systems and Implications for Modeling in CFD" Doctoral Thesis, Department of Fire Safety Engineering Lund University, 2007

Joyez, P. and Lakkonen, M., "Eurotunnel SAFE project", IWMA (International Water Mist Association) conference, Prague, Czech republic, November 3-4, 2010.

Jönsson J. and Johnson, P., "Suppression systems – trade-offs and benefits", Proc 4th Int Symp on Tunnel Safety & Security, Frankfurt am Main, Germany, March 17-19, 2010.

Johnson, P. "Burnley Tunnel Fire - The Arup View", 2007

Kratzmeir, S., "Protection of Tunnels with Water Mist Systems", FIRESEAT 2011 – The Science of Fire Suppression, Edinburgh November 11, 2011

Kratzmeir, S. "Compensatory Effects of Fixed Fire Fighting Systems in Tunnels", Tunnel Safety and Ventilation, Graz, Austria, April 23 -25, 2012

Kratzmeir, S., "Designing Ventilation Systems related to Evacuation", Tunnelling20Twenty – COSUF Workshop, Hongkong, China November 18-19, 2011

Lakkonen, M., "Fixed Fire Fighting systems – Status review of technology", 3rd Annual Fire Protection & Safety in Tunnels 2011, Salzburg, Austria, October 11-12, 2011.

Lakkonen, M., "Modern fixed fire fighting systems for tunnels – Design, integration and costs", 6th International conference on traffic and safety in road tunnels, Pöyry Infra, Hamburg, Germany, May 10-12, 2011.

- Lakkonen, M., "Status Review of Fixed Fighting Systems for Tunnels – SOLIT2 Research program and Eurotunnel case study", Proceedings of KRRI conference on Fire safety and disaster prevention for GTX deep tunnels, Seoul, Korea, November 28, 2011.
- Lakkonen, M., Bremke, T., "Fixed Fighting Systems for Road and Rail Tunnels", Tunnel Magazine 1-2012, pages 40-46. Official journal of STUVA, Germany, February 1, 2012.
- Lakkonen, M., Kratzmeir, S., Bremke, T. and Sprakel, D., "Road tunnel protection by water based fire fighting systems: Implementation of full scale fire tests into actual projects", International Fire Protection Magazine, MDM Publishing, The United Kingdom, February 2008.
- Leucker, R. and Kratzmeir, S., "Fire tests for Water Mist Fire Suppression Systems", Tunnel Journal 8/2011, 42-55, 2011.
- Leucker, R. and Kratzmeir, S., "Results of Fire Tests to assess the Efficiency of Water Mist Fire Fighting Systems in Road Tunnels" Proceedings of STUVA Conference 2011, Berlin, Germany, 6-8, December, 2011.
- Lönnermark, A. and H. Ingason. The Effect of Cross-sectional Area and Air Velocity on the Conditions in a Tunnel during a Fire. SP Report 2007:05. Borås, Sweden, 2007.
- Meijr, JG., Meeussen, V. "New Development for a Fixed Fire Fighting System in Road Tunnels" TUNNEL, Issue 5, 2008
- NFPA, "Fire Protection Handbook 2008", National Fire Protection Association, The USA, 2008.
- Opstad, K., "Fire scenarios to be recommended by UPTUN WP2 Task leader meeting of WP2", Minutes from a meeting in London 05-09-08, 2005.
- PIARC tech. committee C3.3, "Road Tunnels: An assessment of fixed fire fighting systems", Report 2008R07, World road association (PIARC), France, 2008.
- Ponticq, X., "Etudes sur les systèmes fixes d'aspersion d'eau en tunnel", PhD Thesis, CETU, France, February 2009.
- SOLIT (Safety of Life in Tunnels), Water Mist Fire Suppression Systems for Road Tunnels, Final Report, Germany, 2007.
- Stroeks, R. "Sprinklers in Japanese Road Tunnels" Chiyoda Engineering Consultants Ltd. Project Report BFA-10012, 2001
- Tarada, F. and Chan, E. "Crossing Points", Fire Management Journal, 2-5, March, 2009.
- Tuomisaari, M., "Full scale fire testing for road tunnel applications – evaluation of acceptable fire protection performance", Proc. 3rd Int. Symp on Tunnel Safety & Security, Stockholm, Sweden, March 12-14, 2008.
- United Nations, "ADR – European Agreement Considering the International Carriage of Dangerous Goods, Vol. 1&2", Edition 2011, United Nations, 2010.