

**Zeitschrift:** Tec21  
**Herausgeber:** Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein  
**Band:** 129 (2003)  
**Heft:** 1-2: Kunst und Konsum

**Artikel:** Wassernebelanlagen zur Brandbekämpfung: erstmals konnte ein neues Verfahren zur Brandbekämpfung im Tunnel unter 1:1-Bedingungen erprobt werden  
**Autor:** Wetzig, Volker / Reichsthaler, Georg  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-108697>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 29.03.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Wassernebelanlagen zur Brandbekämpfung

Erstmals konnte ein neues Verfahren zur Brandbekämpfung im Tunnel unter 1:1-Bedingungen erprobt werden

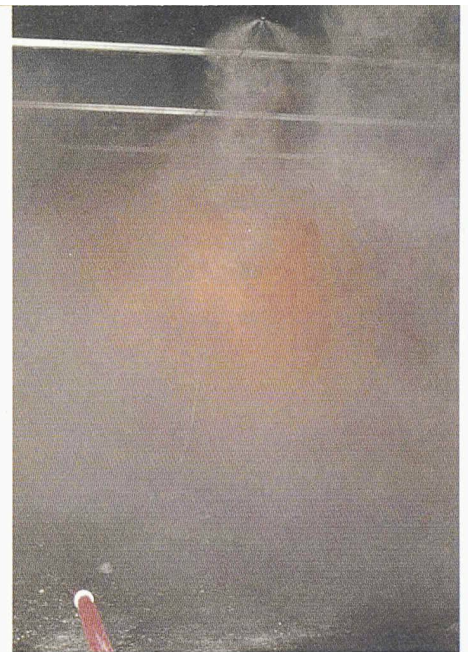
**Eine erfolgreiche Technik zur Brandbekämpfung im Tunnel muss den Brand nicht sofort löschen, um verheerende Unglücksfälle zu verhindern. Wesentlich ist, den Brand so weit unter Kontrolle zu halten, dass die Verkehrsteilnehmer sich selbst retten können, die Feuerwehr den Brandort erreichen kann und die Tunnelstruktur keine relevanten Schäden erleidet. Das Versprühen von Wassernebel ist unter diesen Gesichtspunkten ein wirksames und zuverlässiges Verfahren zur Schadensbegrenzung und Brandbekämpfung im Tunnel.**

Bisher basierten die Entwicklungen neuer Systeme zur Brandbekämpfung allein auf theoretischen Überlegungen und Modelluntersuchungen, da sie vor dem Einbau nicht unter realen Bedingungen geprüft werden konnten. Vor zwei Jahren wurde mit dem Bau eines Brandstollens im Versuchsstollen Hagerbach begonnen, in dem anschliessend ein Wassernebelsystem zur Beherrschung von Brandunfällen in Tunneln unter realen Grossbrandbedingungen erprobt wurde.

## Gefahrensituationen

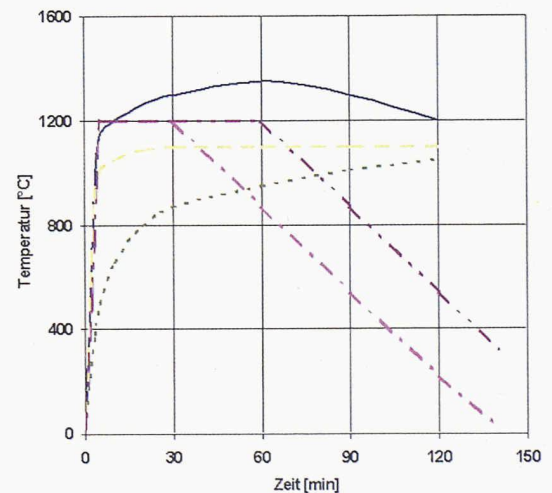
Im Tunnel kommt es zu einer schnelleren und intensiveren Aufheizung des Brandbereiches, als dies im Freien je möglich wäre. Die Brandentwicklung bei Öl oder Benzin als Brandgut erfolgt sehr schnell.<sup>1</sup> Nach der Zündung entsteht ein Schwelbrand, der sich langsam weiterentwickelt und zunehmend die Umgebung erwärmt. Mit Erreichen der Zündtemperatur des Brandgutes kommt es zum Vollbrand, der innerhalb von Sekundenbruchteilen das gesamte Brandgut entflammt (Bild 4). Verbunden mit der Flammenausbreitung füllen die Rauchgase bald den gesamten Tunnelquerschnitt. Eine Flucht ist in dieser Phase praktisch nicht mehr möglich.

Während bei einem herkömmlichen Brand die Aufheizung langsam erfolgt (Einheitstemperaturkurve nach ISO 834), erreichen die Brandtemperaturen bei Kohlenwasserstoffbränden innerhalb von 5 Minuten Werte von über 1000 °C. Diese Tatsache widerspiegelt sich in den Brandbelastungskurven nach RWS, ZTV, EBA oder HC.



1

Wassernebeldüse in Aktion  
(Bilder: Versuchsstollen Hagerbach)



2

Temperatur-Zeit-Kurven für Brandbeständigkeitsuntersuchungen im Tunnel. *Blau:* Rijkswaterstaat (RWS), *violett:* RABT, *gelb:* Hydrocarbon, *grün:* Iso-834, *rosa-rot:* ZTV-Tunnel

Unabhängig von ihrem weiteren Verlauf steigt die Temperatur in wenigen Minuten auf 1200 °C (Bild 2).

Diese extrem schnelle Brandentwicklung kann auch durch optimal organisierte Einsatzkräfte nicht verhindert werden. Auch der Brand im Gotthard-Strassentunnel, bei dem die Einsatzkräfte an den Portalen stationiert sind, hat gezeigt, dass bei eskalierenden Bränden die Tunnelwehren machtlos sind.

## Schutzmassnahmen

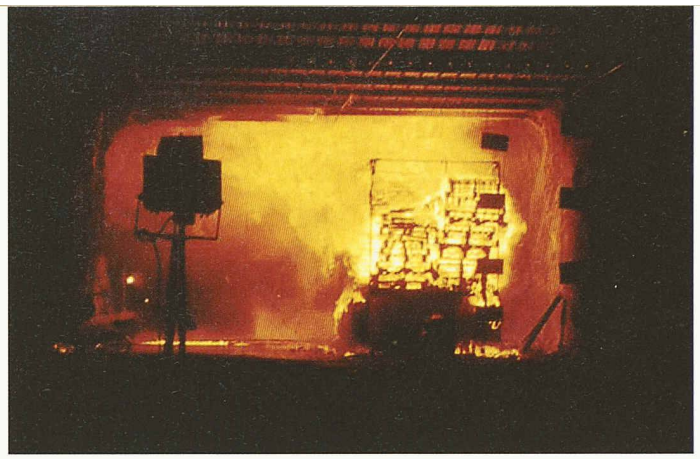
Die Schutzmassnahmen basieren auf den Prinzipien

- Selbstrettung
- Baulicher Brandschutz
- Technischer Brandschutz
- Organisatorischer Brandschutz



3

**Brandstollen VSH (Vorbereitung Versuche)**



4

**Brand vor Inbetriebnahme der Wassernebelanlage**

Massnahmen des baulichen und technischen Brandschutzes unterstützen die Selbstrettung, die als wichtigstes Element der Personenrettung anzusehen ist. Mit dem baulichen Brandschutz werden Schäden an der Bauwerksstruktur und die Übertragung des Brandes in andere Bauwerksteile verhindert. Beton mit erhöhter Brandbeständigkeit bietet hierzu Möglichkeiten.<sup>2,3</sup> Der technische Brandschutz verhindert die unkontrollierte Entwicklung eines Brandes unter Berücksichtigung der hohen Lüftungsgeschwindigkeiten im Tunnel. Die Lüftungsgeschwindigkeiten werden durch die Ventilation, die Rauchgasabsaugung oder klimatische Druckunterschiede an den Portalen verursacht. Infolge von Luftdruckunterschieden sind in langen Tunnels Windgeschwindigkeiten von bis zu 10 m/s gemessen worden. Dadurch kann das Lösch- oder Kühlmittel im ungünstigsten Fall vom Brandherd fortgeblasen werden.

### Versuchseinrichtung

Im Versuchsstollen Hagerbach wurde ein Stollen für grossmassstäbliche Brandversuche erstellt. Bei einer Länge von 200 m weist er den Querschnitt eines zweispurigen Strassentunnels mit 6 m Höhe und 10 m Breite auf und stellt damit die weltweit einzige regelmässig betriebene Anlage für 1:1-Brandversuche dar.

Der Ausbau beschränkt sich auf eine minimale, mit Kunststofffasern vergütete bzw. mit einem Brandschutzmörtel verkleidete Spritzbetonauskleidung. Die erforderlichen Lüftungsgeschwindigkeiten werden durch Grossventilatoren vor dem Portal und zu Beginn des Brandstollens erzeugt.

Für die Temperaturmessung wurden über 150 Messstellen mit Mantelthermoelementen eingerichtet, mit denen Temperaturprofile in unterschiedlichen Höhen, Querschnitten und Abständen zum Brandherd aufgenommen wurden. Die Luftgeschwindigkeit wurde im Zugangsbereich durch Flügelradanemometer gemessen. Aus Videoaufnahmen des gesamten Versuchsablaufs lassen sich im Rauch oder in vernebelten Bereichen bestenfalls qualitative Aussagen ableiten.

Im Brandstollen erfolgten alle Versuche am Wassernebelssystem für den Tunnelleinsatz (Bilder 3 und 4). Weitere Nutzer sind Feuerwehren und Baustellenmannschaften, die Einsatzübungen für Tunnelereignisse durchführen.

### Wassernebelssystem

#### Grundlagen

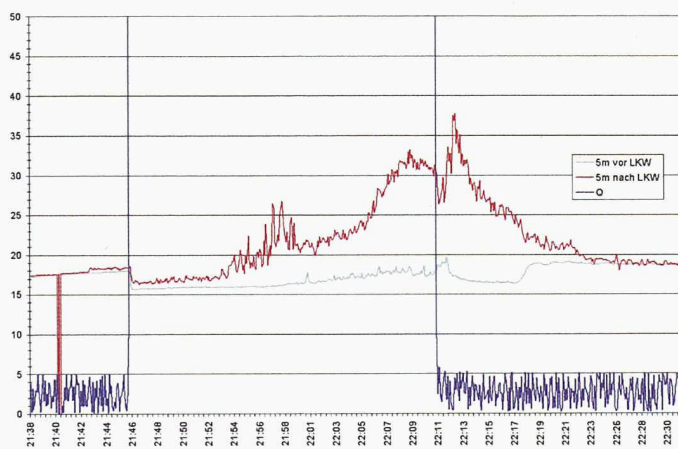
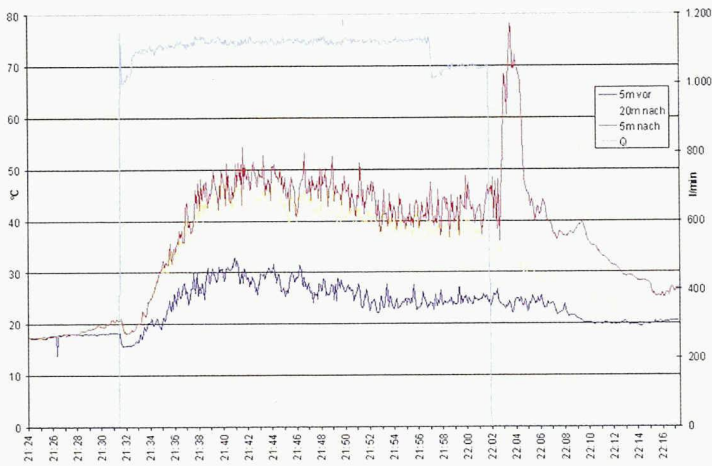
Wassernebelssysteme unterscheiden sich bezüglich Wasserverbrauch, Tropfengrösse und insbesondere durch ihre prinzipielle Wirkungsweise von Sprinklersystemen. Wassernebel, welcher unter Druck durch speziell entwickelte Düsen ausgebracht wird (Bild 1), besteht aus winzigen Wassertröpfchen in der Grössenordnung von unter 100 µm, die eine immense Wasseroberfläche im Brandbereich bilden. Durch den somit drastisch verbesserten Wärmeübergang auf das Wasser wird eine hocheffiziente Verdunstung des Wassernebels erreicht. Diese führt zur Kombination der zwei für die erfolgreiche Brandbekämpfung entscheidenden Effekte, nämlich der lokalen Sauerstoffverdrängung im Bereich der Flammen und des Kühleffektes der Umgebung.

Wenn Wasser verdunstet, vergrössert es sein Volumen um das 1675-fache, was zu einer Reduktion der Sauerstoffkonzentration im unmittelbaren Bereich der Flammen führt und damit das Feuer eindämmt. Für die Verdunstung benötigt das Wasser zusätzliche Energie, die es aus der thermischen Energie des Feuers bezieht. Diese beiden Effekte sind beim Wassernebel besonders wirkungsvoll, da durch die feinen Tröpfchen nahezu das gesamte Wasser verdunsten kann.

#### Sicherheit in Verkehrstunnels

Die Tunnelbrände im Montblanc-, Tauern- und Gottardtunnel haben eindrücklich das Hauptproblem der Brandbekämpfung in einem Tunnel demonstriert: Das besonders rasche Entstehen extrem hoher Temperaturen verhindert das Vordringen der Feuerwehr.

Aus diesen Erfahrungen wurden gemeinsam mit führenden Experten die Zielvorgaben eines Wassernebelsystems für Tunnel erarbeitet: Die rasche Bekämpfung des Brandes in der Entstehungsphase soll die Temperaturen auf ein vorgegebenes Niveau begrenzen, um Personen und die Tunnelstruktur zu schützen und die Rauchentwicklung durch die Verhinderung der Brandausbreitung einzuschränken. Der Einsatz der Wassernebelanlage ermöglicht somit der Feuerwehr, an den Brandherd vorzudringen und das Feuer zu löschen. Diese Zielvorgaben können nur durch die Installation des Wassernebelsystems direkt im Tun-



5a (oben) und 5b

Temperatur-Zeit-Verlauf in verschiedenen Abständen vom Brandherd bei niedriger (a) und bei hoher Luftgeschwindigkeit (b)

rot: Temperatur 5 m nach brennendem LKW  
 gelb: Temperatur 20 m nach brennendem LKW  
 hellblau: Temperatur 5 m vor brennendem LKW  
 dunkelblau: Wasserverbrauch für Nebelerzeugung

nel erfüllt werden. Damit kann auch der Betriebsausfall des Tunnels selbst auf ein Mindestmass beschränkt werden.

### Systemkonfiguration

Ein im Tunnel installiertes Wassernebelssystem besteht aus den folgenden Komponenten:

- Pumpeneinheiten an jedem Portal
  - Einer Hauptleitung durch den ganzen Tunnel
  - Düsenleitungen unter der Decke
  - Kontrolleinheit, Schnittstelle zum Detektionssystem
- Das Wassernebelssystem ist in Sektionen von ca. 30-40 m unterteilt. Im Bereich der Brandstelle werden nur maximal drei Abschnitte aktiviert. Als Anhaltswert für die erforderliche Wassermenge kann der Wasserverbrauch der Zulassungsversuche von ca. 2000 l/min für alle drei ausgelösten Sektionen herangezogen werden.

### Versuchsergebnisse

Im Laufe des Jahres 2001 wurden eine Reihe von Full Scale Tests mit einem vollbeladenen LKW durchgeführt. Aufgrund der daraus gewonnenen Versuchserfahrung konnte die Wassernebelanlage einem Zulassungsverfahren unterworfen werden, das von zwei akkreditierten Prüfinstituten (VdS Deutschland, IBS Österreich) durchgeführt wurde. Das geprüfte Wassernebelssystem erfüllte alle geforderten Kriterien:

- maximal 50 °C im Abstand von 20 m vom brennenden LKW, um zu gewährleisten, dass der Brandherd von der Feuerwehr erreicht werden kann
- maximal 250 °C im Abstand von 5 m vom brennenden LKW, um zu gewährleisten, dass ein Übergreifen des Brandes erfolgreich verhindert werden kann
- unter 100 °C in 10 mm Betontiefe der Zwischendecke, um zu verhindern, dass der Beton abplatzt.

Mit Wiederholversuchen wurde die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse bei unterschiedlichen Windgeschwindigkeiten belegt. Selbst im Abstand von 5 m vom brennenden LKW wurden Temperaturen im Bereich von 50 °C eingehalten. Der schnelle Anstieg der Temperaturen nach Abschalten der Wassernebelanlage belegt das bestehende Brandpotential, das vorgängig durch die Wassernebelanlage gekühlt wurde (Bild 5).

### Ausblick

Mit Wassernebelssystemen können auch Eisenbahntunnels geschützt werden. Nach dem Brand von 1996 im 50 km langen Kanaltunnel betrieb Eurotunnel ein Forschungsprogramm, um den Tunnel bei Feuer zu schützen. Aufgrund von Windkanaltests und Feuertests in einem 1:1 nachgebildeten Tunnel entschied Eurotunnel, seine Lastwagen-Pendelzüge mit einem On-board-Wassernebelssystem auszustatten.

### Literatur

- 1 Kordina/Meyer-Ottens: Betonbrandschutzbuch. VBT, Düsseldorf 1999.
- 2 V. Wetzig: Zerstörungsmechanismen beim Werkstoff Beton im Brandfall und Schutzsysteme. Tunnel, Nr. 7, 2000.
- 3 V. Wetzig: Beton mit erhöhter Brandbeständigkeit. Schweizer Ingenieur und Architekt, Nr. 43, 2000.

Volker Wetzig, dipl. Ing., Versuchsstollen Hagerbach AG, Rheinstrasse 4, 7320 Sargans  
 wetzig@hagerbach.ch  
 Georg Reichsthaler, dipl. Ing., Aquasys GmbH, A-4021 Linz  
 g.reichsthaler@aquasys.at