



# Tunnel unter Feuer:

Branderkennung extrem schnell, präzise und zuverlässig

## Abstract

Am 17. und 18. Oktober 2013 war der Gmünder Einhorn Tunnel Schauplatz eines großen Ereignisses, an dem neben der Feuerwehr auch zahlreiche andere Besucher aus verschiedenen Bereichen des Straßen- und Tunnelbaus anwesend waren.

Mit insgesamt **elf (11) Brandversuchen** konnte dabei der Tunnel bzw. das installierte Brandmeldesystem sowie die Entrauchungsanlage erfolgreich getestet werden. Dabei spielt die *Linear Heat Series* von AP Sensing, als linearer Wärmemelder auf faseroptischer Basis, eine tragende Rolle. Mit Hilfe von Tests (unter anderem nach **RABT**: Richtlinien für die Ausstattung und den Betrieb von Straßentunneln) wurden Autobrände simuliert, die schnell und zuverlässig über das an der Decke befestigte Sensorkabel detektiert wurden, sodass das Leitsystem nachfolgende Prozesse zur Brandbekämpfung zeitnah einleiten konnte.

Dabei lag die Detektionszeit bei allen Versuchen unterhalb der geforderten Zeit. Beim **RABT-Test wurde der Brand sogar nach der Hälfte der Zeit detektiert** und auch kleinere Feuer mit nur **0,5 MW (1/10 des RABT Norm Feuers)** konnten **in kurzer Zeit** zuverlässig erkannt und lokalisiert werden.



## Einleitung

Anforderungen an Sicherheitssysteme für unterirdische Anlagen sollten ein Höchstmaß an Sicherheit erfüllen.

Wichtige Aspekte sind dabei:

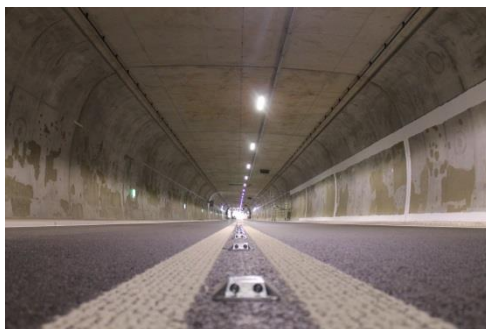
- Schnelle und verlässliche Branderkennung und metergenaue Lokalisierung
- Automatische Aktivierung der Sicherheitskontrolle und Alarmierung von Notdiensten z.B. Feuerwehr
- Sichere Evakuierung für im Tunnel befindliche Personen



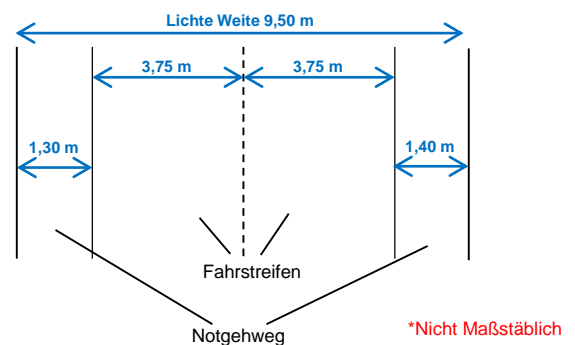
**Bild 1: Tunnelröhre - Einfahrtsbereich**

Ein Beispiel einer solchen automatischen Regelung ist der Umgehungstunnel in Schwäbisch Gmünd (Gmünder Einhorn Tunnel). Im Fall eines Brandes meldet das Brandmeldesystem neben dem Brandalarm zusätzlich den zugehörigen Brandort bzw. Brandabschnitt, sodass das Leitsystem die Lüftung entsprechend ansteuern und regeln kann.

Dabei wird der 2230 m lange Tunnel (B x H: 9,50 m x 4,70 m – Zeichnung 1 „Abmessungen – innerer Tunnelbereich“), über ein 3182 m langes, faseroptisches Brandmeldekabel überwacht, welches mittig an der Tunneldecke befestigt ist. Die Auswertung des Brandmeldekabels erfolgt über zwei Auswerteeinheiten (AP Sensing Linear Heat Series), die unabhängig voneinander den Brand detektieren und den Alarm über Relais & Modbus an das Leitsystem weitergeben.



**Bild 2: Tunnelröhre - Innerer Bereich**



**Zeichnung 1: Abmessungen – innerer Tunnelbereich**

## Testaufbau und Testlauf

Zur Untersuchung der Branddetektion (Zeit zwischen Brandauslösung und Branderkennung), sowie zur Untersuchung der Rauchentwicklung und Funktionsprüfung des Rauchabsaugsystems sind elf Brandtests an fünf verschiedenen Orten geplant.

Für die Simulation verschiedener Szenarien werden die Tests mit unterschiedlicher Brandlast (Benzinbrand oder Gasbrand), sowie verschiedenen Strömungsgeschwindigkeiten durchgeführt.

Ein Brand nach RABT (Richtlinien für die Ausstattung und den Betrieb von Straßentunneln) wird mittels einer Benzinwanne - 20 l auf 4 m<sup>2</sup> - realisiert. Für die Strömungsgeschwindigkeit gilt dabei ein Anfangswert von 6 m/s.

Zur Simulation eines Motorbrandes wird ein umgebautes Auto verwendet, welches im Innenraum mit Gasschläuchen versehen ist. Die Versorgung mit Gas erfolgt über einen zentralen Anschluss, wobei die Gasflaschen in einiger Entfernung zum Brandort stehen. Da über den Gasbrand nur Hitze erzeugt werden kann, werden zusätzlich zwei Rauchgasflaschen eingesetzt, die in nächster Nähe zum Brandherd stehen, um so die Entstehung von Rauch bei einem Brand zu simulieren.

Für die Branddetektion besitzt das Brandmeldekabel die höchste Priorität. Das System (Auswerteeinheit + Brandmeldekabel bzw. die Brandabschnittszonen) wird entsprechend der Norm EN 54-5 Klasse A1 konfiguriert. Neben den durch die VdS-Zertifizierung des linearen Brandmelders vorgegebenen Alarmparameter ist noch ein zusätzlicher konfiguriert, sodass insgesamt 5 Alarmkriterien pro Brandabschnitt aktiv sind:

- Maximaler Grenzwert: 60° C
- Thermo-Differentialquotient 1: 13° C auf 40 s
- Thermo-Differentialquotient 2: 17° C auf 120 s
- Thermo-Differentialquotient 3: 28° C auf 360 s
- Differenz zum Zonenunterschied:
  - a) Einfahrts- und Ausfahrtsbereich: 25 °C
  - b) Im Tunnelinneren: 20 °C

Die Messzeit der Auswerteeinheiten liegt jeweils bei 10 Sekunden.



**Bild 3: Gasbrandversuch**

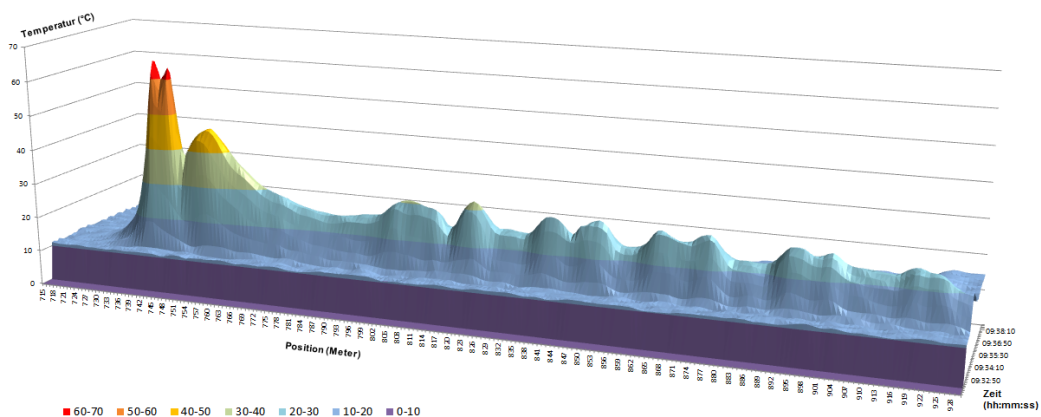
## Ergebnisse

Die am 17. und 18. Oktober 2013 elf durchgeführten Brandtests liefern klare Ergebnisse über die Branddetektion. Neben einem RABT-Test (5 MW), der entsprechend der Norm durchgeführt wurde, konnten auch kleinere Brände z.B. 0,5 MW (1/10 des RABT Feuers) simuliert und erfolgreich detektiert werden.

Versuchsnummer	Brandort/-abschnitt	Art des Brandes	Brandlast	Strömungsgeschwindigkeit	Max (60 °C)	Gradient 1 (13°C / 40 s)	Gradient 2 (17°C / 120 s)	Gradient 3 (28°C / 360 s)	Max Delta	Max Temp °C
1	7	Benzinbrand	5 MW	Start mit 6 m/s Peak 3,3 m/s	00:54 (DTS Ost)	00:29 (DTS West)	00:34 (DTS Ost)	00:39 (DTS West)	00:34 (DTS Ost)	79,62
2	7	Benzinbrand	5 MW	Start mit 6 m/s Peak 4 m/s	00:63 (DTS Ost)	00:33 (DTS Ost)	00:38 (DTS West)	00:43 (DTS Ost)	00:33 (DTS Ost)	72,84
3	7	Benzinbrand	2 MW	2 m/s Längsströmung (Start & Peak)	--	00:53 (DTS West)	00:63 (DTS West)	--	00:63 (DTS West)	39,19
4	2	Gasbrand	1,5 MW	1,2 m/s Längsströmung	00:58 (DTS Ost)	00:33 (DTS West)	00:33 (DTS West)	00:43 (DTS West)	00:33 (DTS West)	101,73
5	2	Gasbrand	0,5 MW		02:07 (DTS West)	01:17 (DTS West)	01:27 (DTS West)	01:47 (DTS West)	01:42 (DTS Ost)	89,37
6	22	Gasbrand	0,5 MW	- 1 m/s Längsströmung	02:18 (DTS West)	00:48 (DTS West)	00:53 (DTS Ost)	01:53 (DTS Ost)	00:43 (DTS Ost)	104,2
7	22	Gasbrand	7 MW	- 5,3 m/s Längsströmung	01:44 (DTS Ost)	00:44 (DTS Ost)	00:49 (DTS West)	01:14 (DTS Ost)	00:44 (DTS Ost)	115,14
8	35	Gasbrand			02:31 (DTS West)	00:31 (DTS Ost)	00:41 (DTS Ost)	00:51 (DTS Ost)	00:41 (DTS Ost)	94,5
9	35	Gasbrand	0,75 MW		01:16 (DTS Ost)	00:36 (DTS Ost)	00:36 (DTS Ost)	00:56 (DTS Ost)	00:36 (DTS Ost)	103,04
10	35	Gasbrand	0,5 MW		07:10 (DTS Ost)	01:00 (DTS Ost)	01:10 (DTS Ost)	05:10 (DTS Ost)	01:10 (DTS Ost)	74,23
11	32	Gasbrand	1 MW		01:08 (DTS Ost)	00:28 (DTS Ost)	00:33 (DTS West)	00:43 (DTS West)	00:38 (DTS Ost)	109,99

**Tabelle 1: Auslösezeiten**

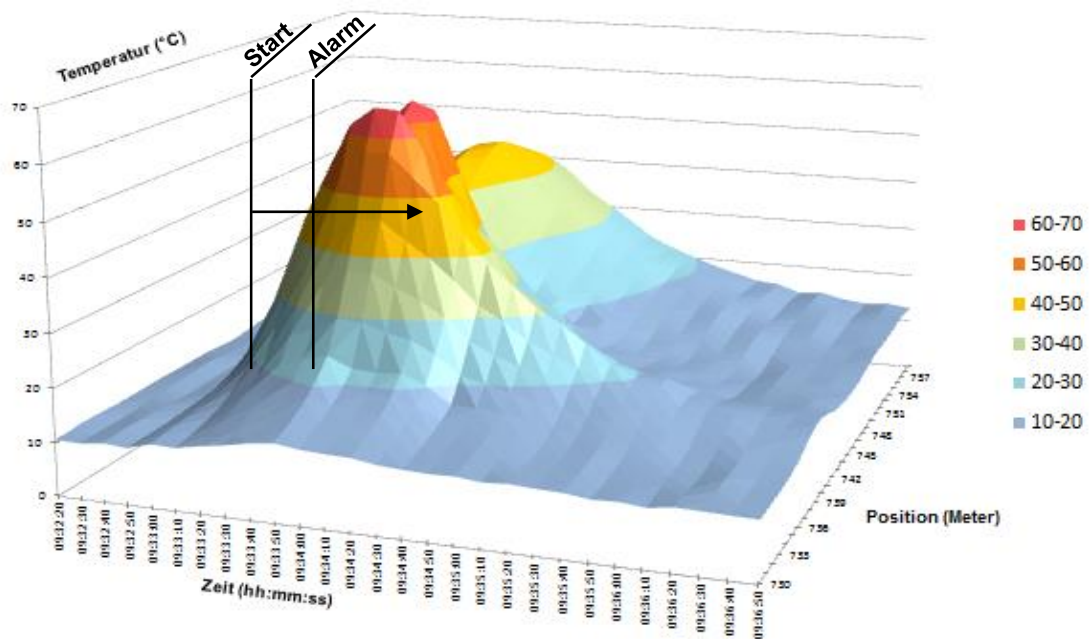
Dabei konnten alle Brände in der jeweils vorgegebenen Zeit erfolgreich erkannt werden. Für den Test unter RABT-Bedingungen erfolgte die Alarmauslösung bereits nach 29 bzw. 33 Sekunden, was deutlich unterhalb der geforderten Zeit von 60 Sekunden liegt. Dabei wurde der Alarm durch den Thermo-Differentialquotient 1 ausgelöst. Nach kurzer Zeit wurde auch der Alarmschwellwert von 60 °C erreicht. Grafik 1 „Versuch 2 - Temperaturverlauf über die Distanz“ zeigt neben dem schnellen Anstieg der Temperatur auch die Wärmeausbreitung im Tunnel.



**Grafik 1: Versuch 2 - Temperaturverlauf über die Distanz**

Wie zu erkennen ist, steigt die Temperatur im Bereich des Brandes schlagartig an. Kurz hinter der Brandstelle ist die Temperatur wieder auf unter 30 °C abgesunken. Dieses Phänomen wird durch die Lüftungsklappen in der Tunnelzwischenendecke verursacht. Nach der Branddetektion startet die automatische Aktivierung von definierten Brandbekämpfungsprozessen, darunter auch das Öffnen der Rauchabzugs-/Lüftungsklappen im Bereich des Brandes. Der Rauch wird dadurch schnell aus dem Fahrbereich ausgeleitet, um so freie Sicht auf den Brand und die Umgebung gewährleisten zu können.

In der Grafik 2 „Versuch 2 – Temperaturverlauf über der Zeit“ kann die schnelle und präzise Temperaturmessung über das Sensorkabel beobachtet werden. Wie zu erkennen steigt die Temperatur auf über 60 °C an (die Alarmauslösung erfolgt bereits früher). Nach dem Ende des Brandtests ist die Temperatur an der Brandstelle schnell wieder auf unter 20 °C abgesunken.



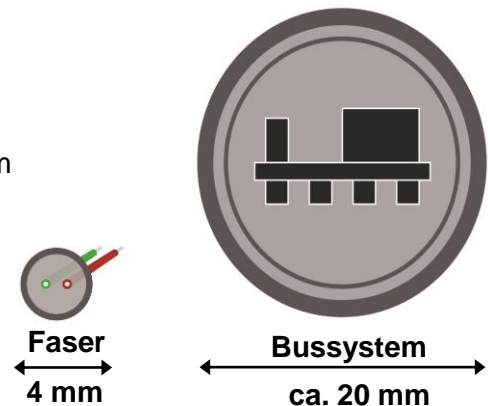
**Grafik 2: Versuch 2 - Temperaturverlauf über der Zeit**

Neben der Branddetektion und Lokalisierung des Brandherds wird auch die Größe, sowie die Ausbreitung des Feuers bzw. die Wärmeausbreitung als Resultat der vorhandenen Luftströmung im Tunnel während der gesamten Zeit erfasst. Dies ermöglicht die Ausweisung sicherer Rettungswege für Passanten im Tunnel, als auch die Vorgabe und Koordinierung der Anfahrt der Feuerwehr und Rettungskräfte im Tunnel bzw. zum Brandherd.

**Die AP Sensing *Linear Heat Series* wird damit zum idealen Brandmeldesystem bei der Branderkennung und bietet somit ein höchstes Maß an Schutz und Sicherheit.**

## Warum ist das faseroptische System so viel schneller und präziser?

Die bis heute gängigen elektrischen Bussysteme arbeiten mit einem ca. 5x so großen Sensorkabeldurchmesser, was einer **30x so großen Masse** entspricht. Diese größere Masse resultiert in einem langsameren Ansprechverhalten.



Faseroptisches Sensorkabel:

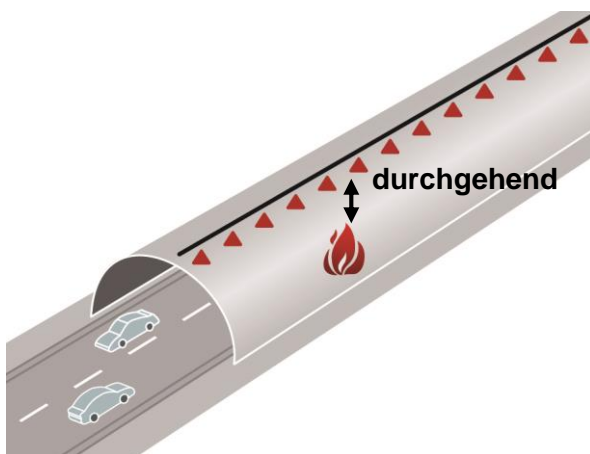
- **15 kg/km**
- keine aktiven Komponenten im Kabel (**100% passiv**)
- sehr **schnelle Reaktionszeiten**

Typisches elektrisches Sensorkabel

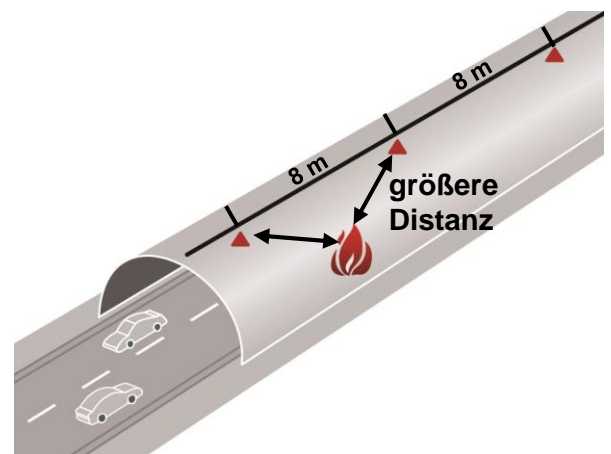
- **450 kg/km**
- alle 4 – 8 m aktive Sensoren
- 30x größerer Masse -- **trägerere Reaktionszeiten**

Zusätzlich sind bei den Bussysteme typischerweise Sensorabstände von 4 bis 8 m vorgesehen, wogegen faseroptische Systeme einen durchgehenden Sensor darstellen.

Bei Bränden dauert es (wegen dem erhöhten Sensorabstand von bis zu 4 Metern) länger, bis sich die Hitze zum Sensor im Sensorkabel entfaltet hat. Da sich diese Hitze im Raum ausbreiten kann ist der Effekt entsprechend signifikant.



- alarmiert zuverlässig und schnell, auch bei kleinen Bränden



- größere Feuer, bzw. mehr Zeit notwendig, um Alarm auszulösen

## Fazit

Die im „Gmünder Einhorn“-Tunnel durchgeführten Tests demonstrieren **die schnelle und präzise Branddetektion** der AP Sensing *Linear Heat Series*.

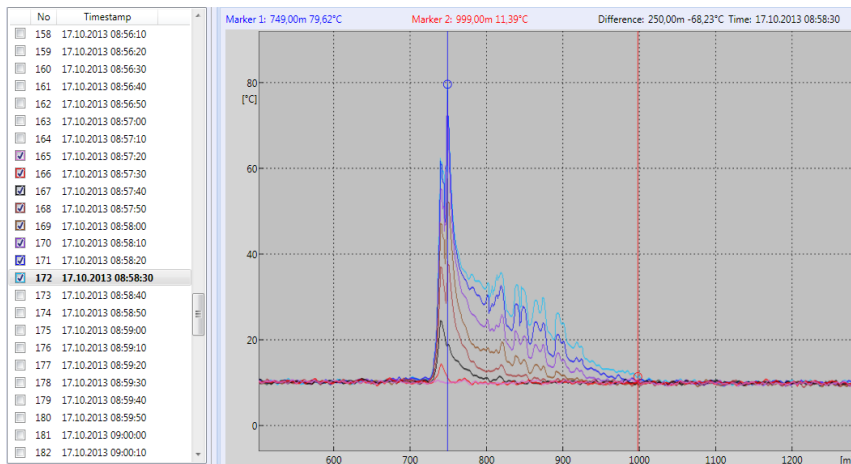
Dabei wurden alle Brände innerhalb der vorgegebenen Zeit erfolgreich erfasst und lokalisiert. Für den RABT-Test gilt hier sogar, dass der nach Norm durchgeführte Brand bereits nach 33 Sekunden von der AP Sensing *Linear Heat Series* detektiert wurde. Dies ist **45 % schneller als es die Anforderungen nach RABT-Norm** (Brandlast: 5MW; Brandauslösung innerhalb 60 Sekunden) vorgeben.

Desweiteren wurden auch kleinere Brände erfolgreich erkannt, sodass hier ein **Brand von nur 0,5 MW (10 % der Brandlast vom RABT-Test) innerhalb von 60 Sekunden detektiert** wurde.

**Für den Betreiber stellt es einen großen Nutzen** dar, wenn er bereits kleine Brände erkennen und sofort Gegenmaßnahmen, wie Tunnelsperrung und zügige Alarmierung der Feuerwehr einleiten kann.

# Anhang

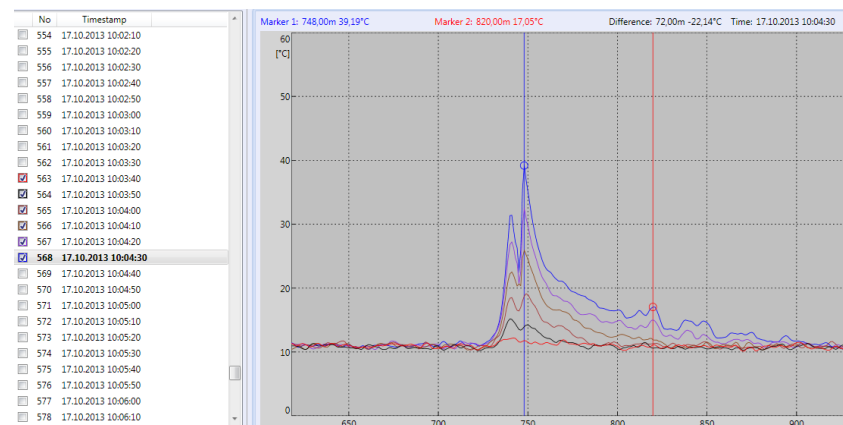
## Temperaturgraphen der Brandversuche: Versuch 1 bis Versuch 3



**Brandversuch 1 (Benzinbrand): 5 MW ; Detektionszeit: 29 s**



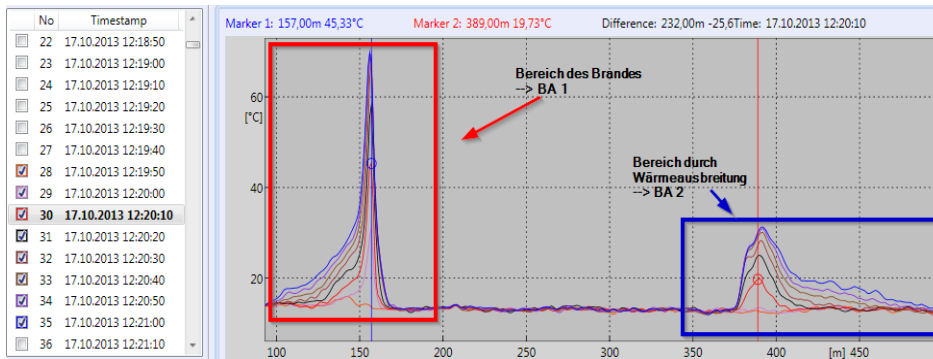
**Brandversuch 2 (Benzinbrand): 5 MW ; Detektionszeit: 33 s**



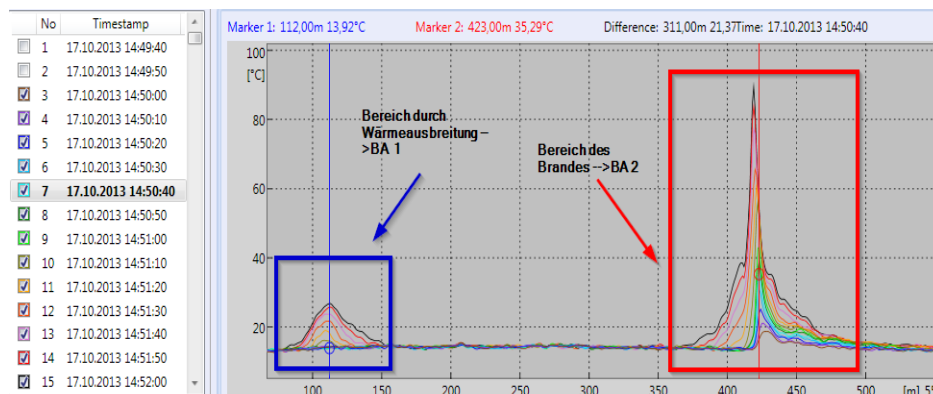
**Brandversuch 3 (Benzinbrand): 2 MW ; Detektionszeit: 53 s**



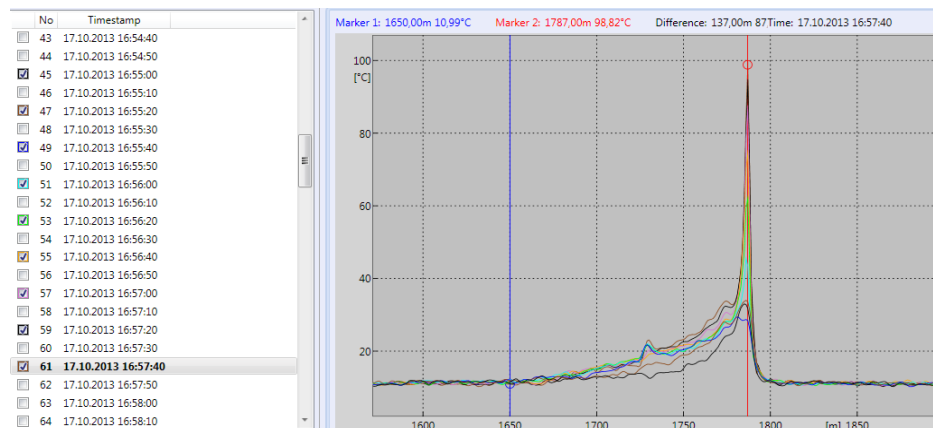
## Temperaturgraphen der Brandversuche: Versuch 4 bis Versuch 6



**Brandversuch 4 (Gasbrand): 1,5 MW ; Detektionszeit: 33 s**

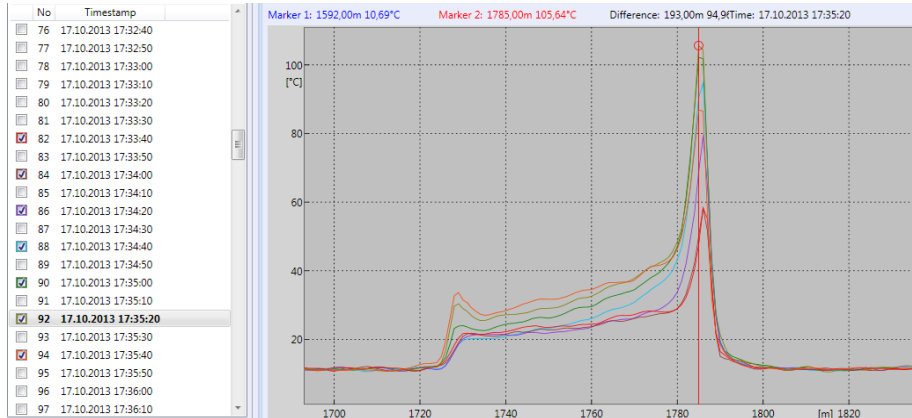


**Brandversuch 5 (Gasbrand): 0,5 MW ; Detektionszeit: 77 s**

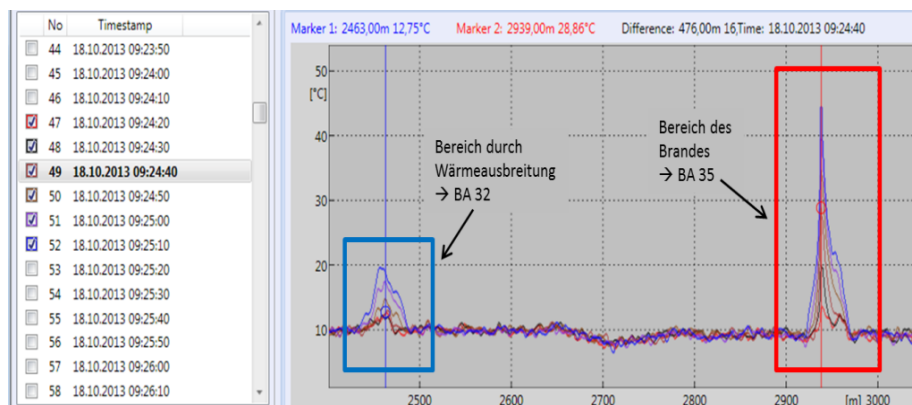


**Brandversuch 6 (Gasbrand): 0,5 MW ; Detektionszeit: 48 s**

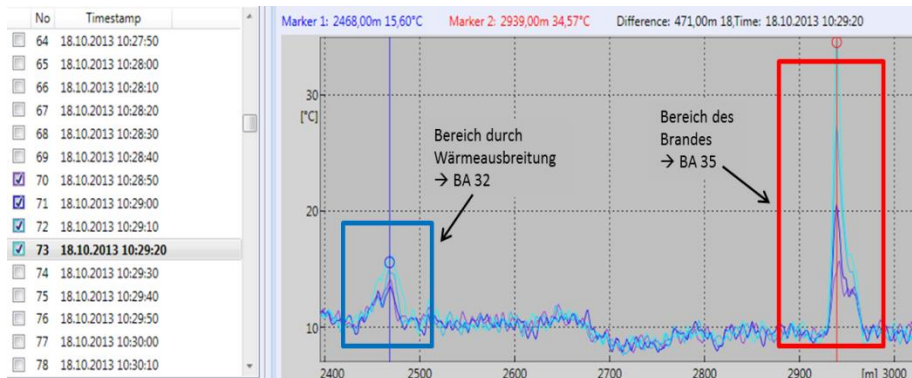
## Temperaturgraphen der Brandversuche: Versuch 7 bis Versuch 9



**Brandversuch 7 (Gasbrand): 7 MW ; Detektionszeit: 44s**

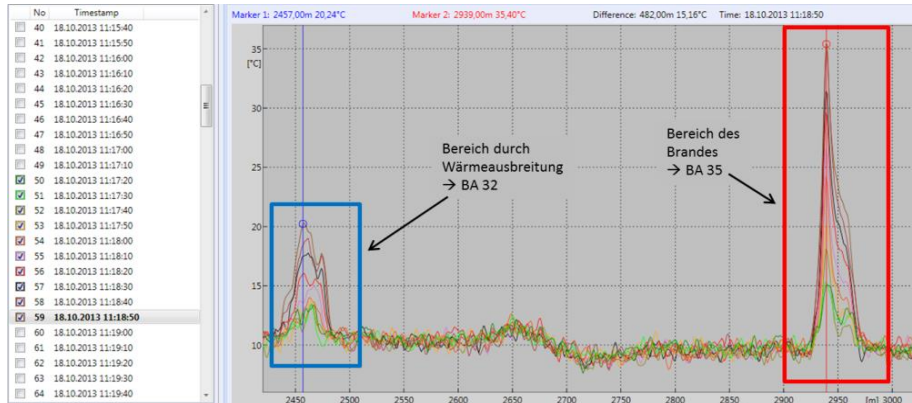


**Brandversuch 8 (Gasbrand): „in Klärung“ ; Detektionszeit: 31 s**

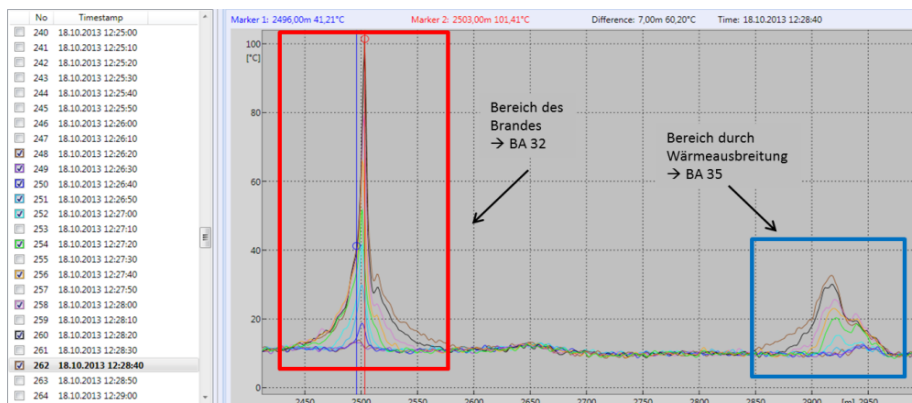


**Brandversuch 9 (Gasbrand): 0,75 MW ; Detektionszeit: 36 s**

## Temperaturgraphen der Brandversuche: Versuch 10 bis Versuch 11

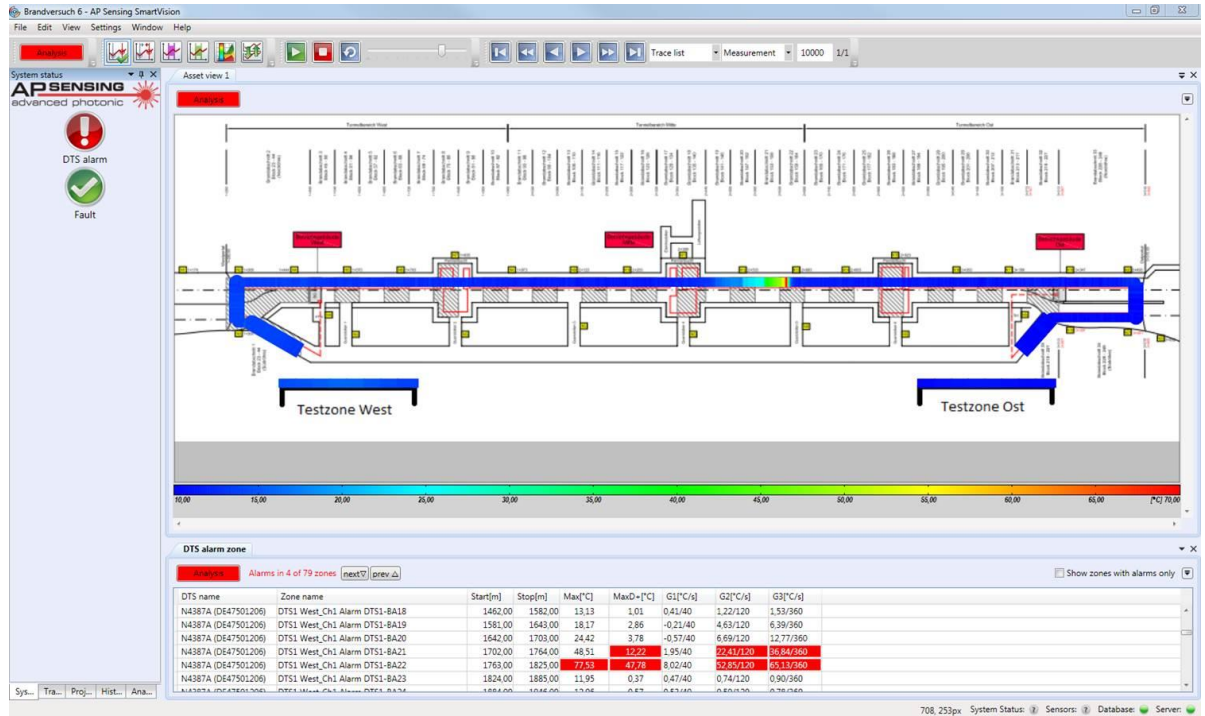


**Brandversuch 10 (Gasbrand): 0,5 MW ; Detektionszeit: 60 s**



**Brandversuch 11 (Gasbrand): 1 MW ; Detektionszeit: 28 s**

## AP Sensings SmartVision Visualisierungs-Plattform : Brandversuch 6



**SmartVision - Brandversuch 6 (Gasbrand): 0,5 MW ; Detektionszeit: 48 s**