



Tragen Sie PSA!

[www.firefightersclosecalls.com](http://www.firefightersclosecalls.com)

# Den Brand lesen

Koen Desmet



übersetzt von  
Adrian Ridder



- ⇒ R auch  
Farbe, Dichte, Rauchsichten,...
- ⇒ L uftströme  
Geschwindigkeit, Richtung, Druck, Wind, Pulsieren, ...
- ⇒ W ärme  
Plötzlicher Wärmeanstieg, Warnsignale, Temperaturcheck...
- ⇒ F lammen  
Flammenfarbe, Flammenart, ...

Möglichst viele unterschiedliche  
Anzeichen im Zusammenhang bewerten!  
Alle Anzeichen stehen im  
Zusammenhang!

*Reading the Fire, Shan Raffel, 1999  
SAHF: Smoke, Air flow, Heat, Flame*



[www.hasbrouck-heights.com](http://www.hasbrouck-heights.com)

# RLWF - Rauch lesen

*SAHF: **S**Smoke, **A**ir flow, **H**eat, **F**lame*

- Rauchfarbe
  - Art der Brandgase
  - Ventilationszustand
  - Entwicklungszustand des Brandes
  - Brandentwicklung und -ausbreitung
  
- ‘Dichte’ ⇔ ‘Volumen’
  - ‘Dichter Rauch und wenig Feuer’ z.B.
  - ‘dichter, öliger Rauch’ = unvollständige Verbrennung
  - Stadium des Brandes
  - Intensität des Brandes

Alle Anzeichen können nur bei Gebäudebränden und ähnlichen Bränden angewendet werden

# Rauchfarbe

RLWF

## Weißer Rauch

- ⇒ Wasserdampfbildung
- ⇒ Manchmal Pyrolysegase

## Hellgrauer Rauch

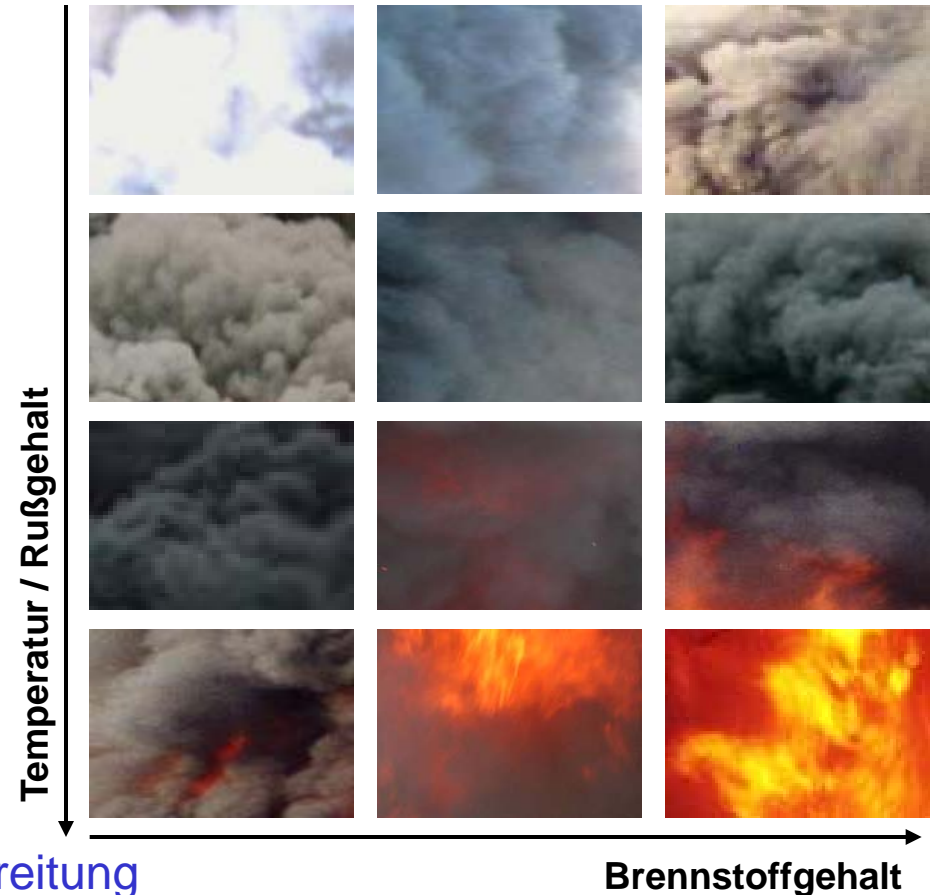
- ⇒ Mischung aus Rauch/Pyrolysegase
- ⇒ Unvollständige Verbrennung ↑
- ⇒ Rußgehalt ↑

## Dunkelgrauer Rauch

- ⇒ Unvollständige Verbrennung ↑↑
- ⇒ Rußkonzentration/Dichte ↑
- ⇒ Brennstoffgehalt ↑

## Schwarzer Rauch

- ⇒ Dichter, beißender Rauch
- ⇒ Hoher Rußgehalt
- ⇒ Dunkelroter Schein ⇒ Flammenausbreitung
- ⇒ Brennstoffgehalt ↑↑
- ⇒ Deutet auf vorgemischte Verbrennung hin



# Rauchfarben

RLWF

Weiß-gelb bis brauner Rauch

- ⇒ Pyrolysegase
- ⇒ Hochgiftiger Rauch!!!
- ⇒ Leicht entzündlich
- ⇒ Flüchtige organische Verbindungen  
u.a. Acrolein, Formaldehyd, Benzol,  
Toluol, Styrol, Isocyanate, NO<sub>x</sub>...

Unzureichend ventilierter Brand

⇒ **Backdraft**

Angrenzende, vom Brand erhitzte  
Räume

⇒ **Brandausbreitung**





- Entstehungsbrand
- Wasserdampf und Pyrolysegase



- entwickelter Brand
- Temperatur ↑
- Rauchdichte ↑
- Brennstoffreicher Rauch



- Flashover im Inneren
- Wasserdampf/Pyrolysegase am First



East Side Fire department, [www.esfd.org](http://www.esfd.org)





# Rauchfarbe

RLWF



East Side fire department, [www.esfd.org](http://www.esfd.org)





[www.firetactics.com](http://www.firetactics.com)



**RLWF**

-

***Luftströme***

[www.flashover.fr](http://www.flashover.fr)

*SAHF: Smoke, Air flow, Heat, Flame*

- Normal
  - Druckunterschied durch Temperaturunterschied innen/außen
  - Klimaanlage/Heizungsschächte
  - Wind
  
- Beim Zimmerbrand
  - Druckunterschied wegen thermische Expansion
  - Druckunterschied wegen Brandgasentwicklung
  - Wind (?)
    - ⇒ Schwerkraftströmung
    - ⇒ Neutrale Grenzschicht
    - ⇒ Rauchströmung

1. Schwerkraftströmung
2. Neutrale Grenzschicht
3. Pulsierender Rauch
4. Rauchströmung

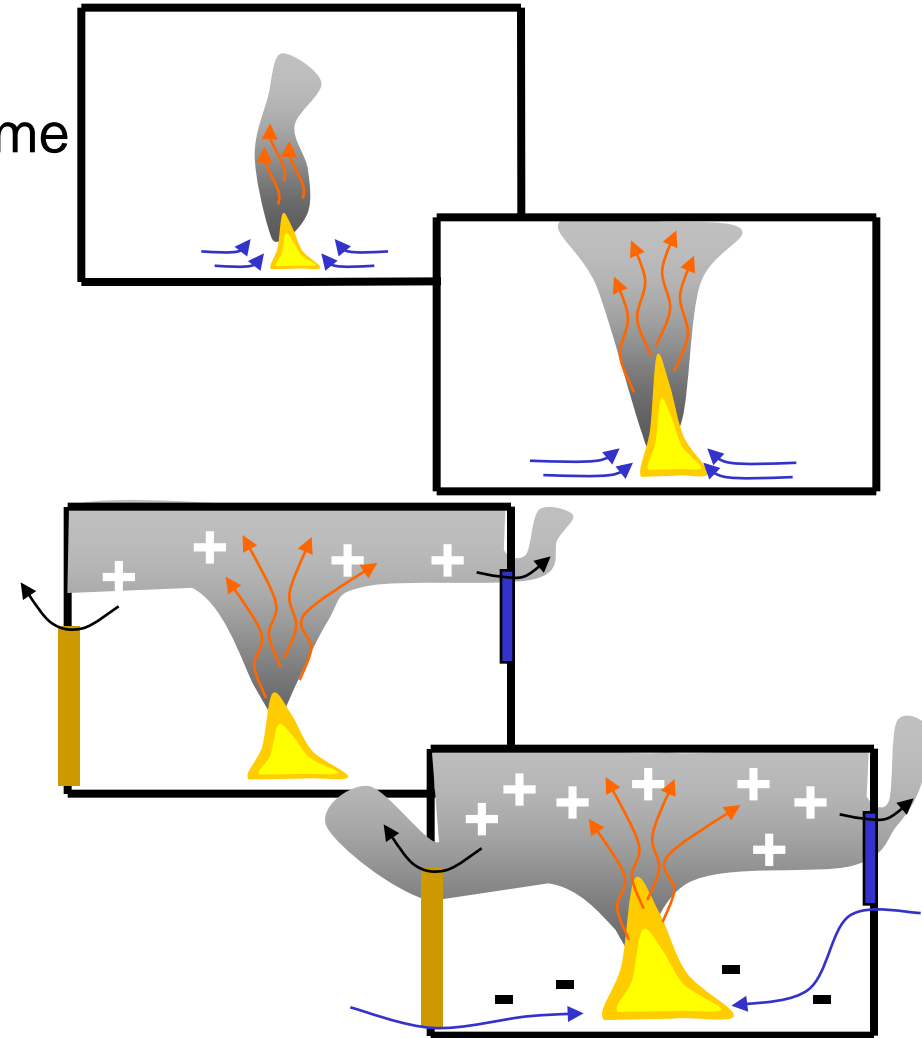


# Schwerkraftströmung

RLWF

- Zimmerbrand
- Produktion von Brandgasen & Wärme
- Raum schließt Rauch ein
  - ⇒ Druckaufbau
- Rauch entweicht durch Spalten
  - ⇒ Druckaufbau gemildert
- Eine Unterdruckzone entsteht
  - ⇒ Ansaugen von Luft

⇒ ⇄ Gegenläufige Strömung



# Schwerkraftströmung

RLWF

- Schwerkraftströmung
  - Heiße, leichte Luft entweicht oben
  - Kalte, schwere Luft fließt in Bodennähe nach
- Klar erkennbares Muster an Öffnungen

↔ *Gegenläufige Strömungen*



- Schnelle, turbulente Strömung in beide Richtungen
  - Intensiver Brand, Ventilations-kontrolliert
- Langsame, laminare Strömungen oder nicht erkennbare Strömungen
  - Entstehungsbrand, Feuer in frühem Stadium
  - Brand besitzt noch eine andere Öffnung, Ausgang
- Richtung des Rauchs beim Einströmen
  - Rauch zieht von meiner Position weg = eine andere Öffnung existiert
- Starker Rauchaustoss aus einer Öffnung, entgegen Wind
  - Heftiger Brand im Inneren

Ein Brand entwickelt sich in Richtung von Ventilationsöffnungen



# Neutrale Grenzschicht

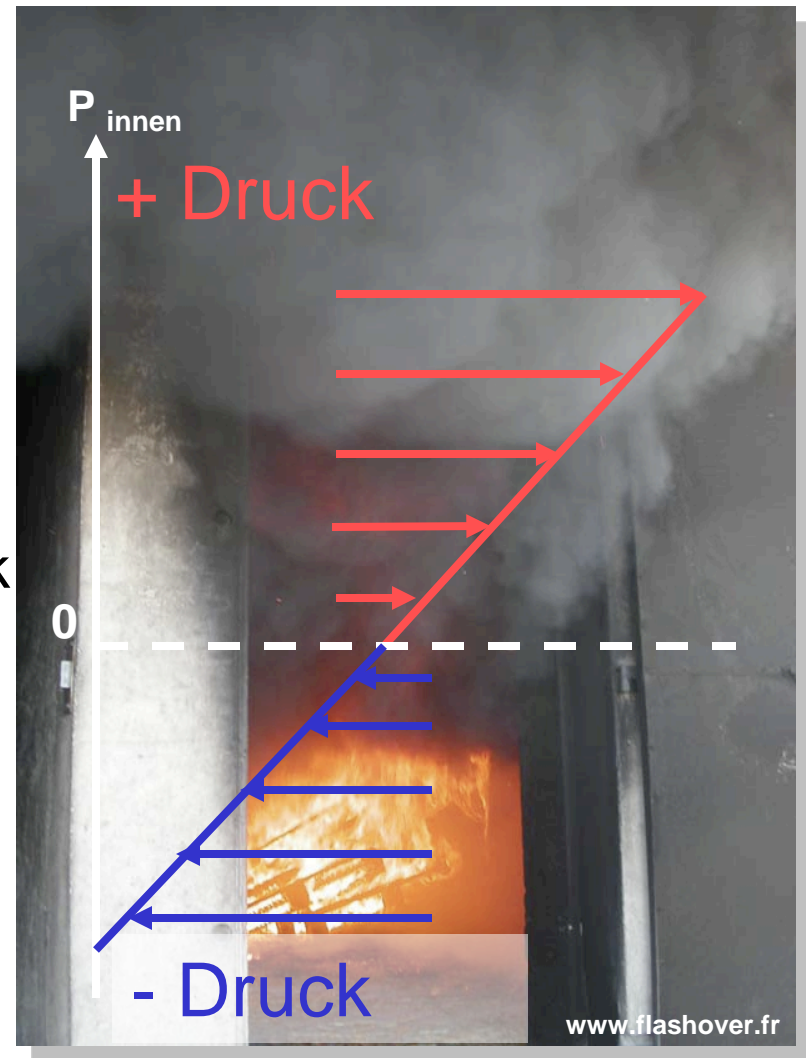
RLWF

- Schwerkraftströmung verursacht
  - Überdruck-Zone
  - Unterdruck-Zone

*Strömung vom Überdruck- zum Unterdruckgebiet*

- Zwischen hohem und niedrigem Druck
  - Einstrom = Ausstrom
  - 'Neutrale' Schicht

*Neutrale Schicht  $\approx$   
untere Grenze der Rauchschicht*







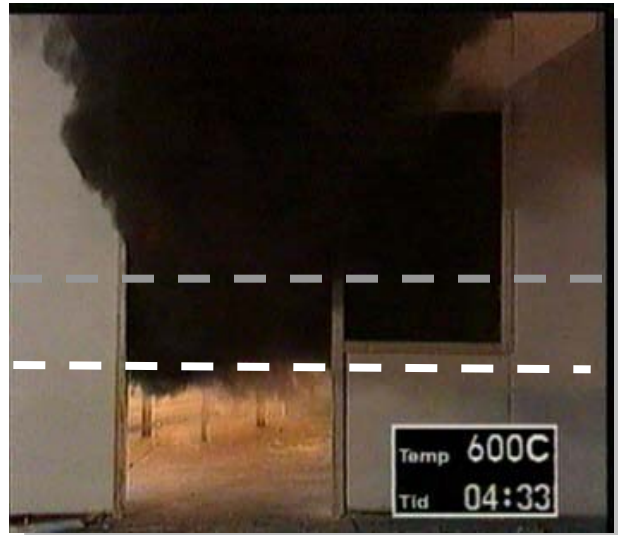
*Entstehungsbrand ⇒ schwacher  
Rauch/Druckaufbau*

# Neutrale Grenzschicht

RLWF



*Neutrale Schicht sinkt ab ⇒ Brand wächst*



*Plötzliches Absinken der neutralen Schicht ⇒ unmittelbare Flashover-Gefahr*

Schrittweises Senken der neutralen Schicht

⇒ Brand entwickelt sich

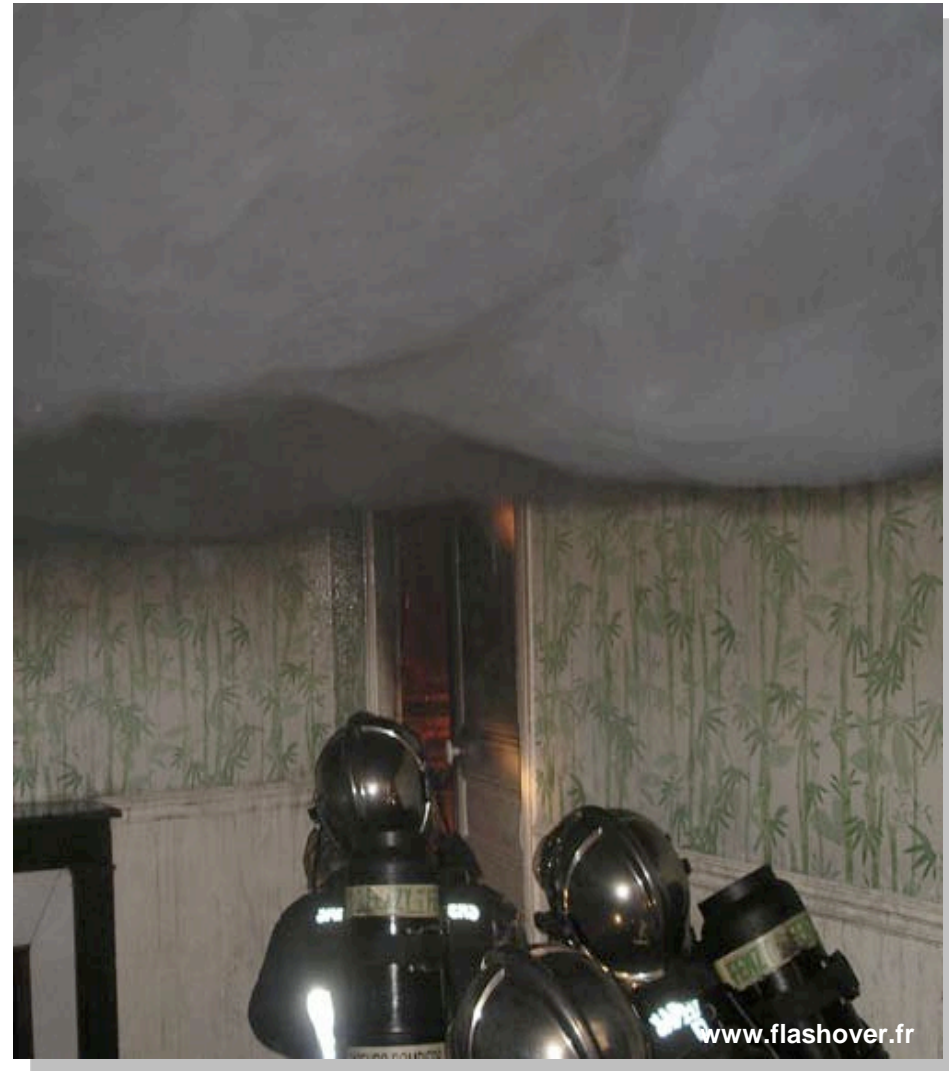
Plötzliches Sinken der neutralen Schicht

⇒ Schnelle Brandausbreitung

⇒ Flashover steht unmittelbar bevor

Heben der neutralen Schicht

⇒ Ventilation findet statt



# Neutrale Grenzschicht

RLWF

## An der neutralen Schicht

- Brandgase mischen sich mit Luft
- Entzündliche Gemische entstehen

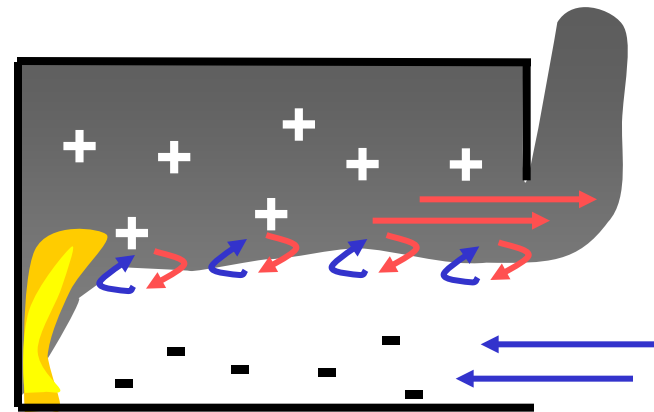
## Roll-over ?

- Ausreichend entzündliche Gase
- Temperatur hoch genug
- Zündquelle

## Flashover steht unmittelbar bevor!

- Möglich aber selten bläuliche Flammen

*Bei realen Bränden ⇒ Roll-over  
Nicht immer sichtbar, aber man  
kann es spüren*



# Neutrale Grenzschicht

RLWF



Entzündung an der neutralen Schicht

⇒ Entzündliche Mischung!



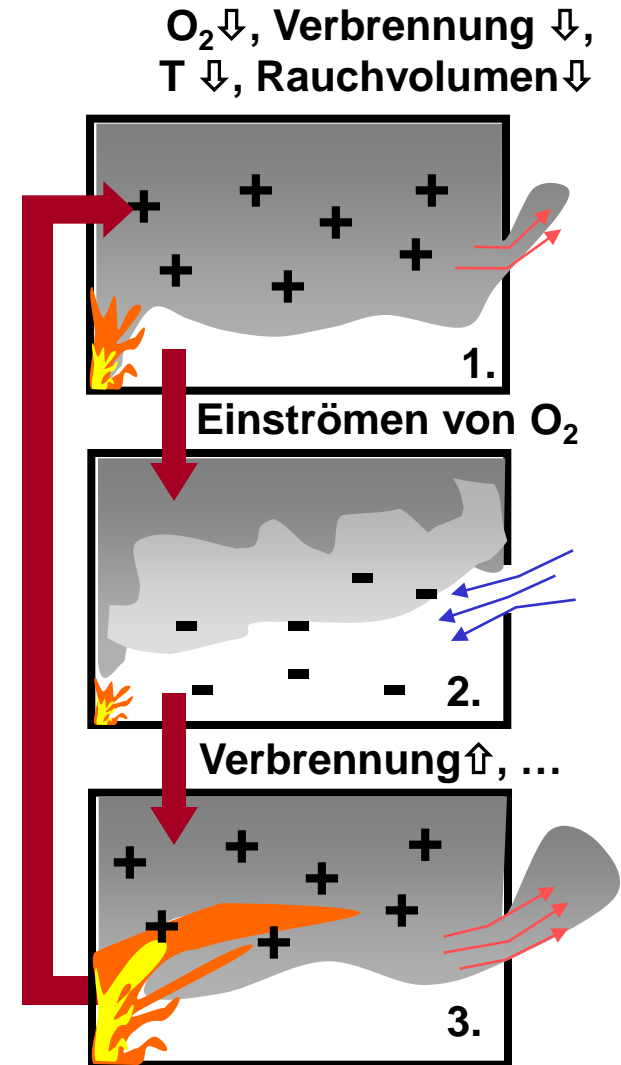
## ■ Pulsieren an Öffnungen/Spalten

- Expansion und Kontraktion der Brandgase
- wegen  $\Delta T \sim$  Änderung der Brandintensität
- Zyklus stoppt bei Ventilation...
- Öffnen einer Tür oder eines Fensters
- Backdraft oder weiteres Brandwachstum

## ■ Pfeifende/saugende Geräusche

- $\leftrightarrow$  pulsieren durch schmale Öffnungen
- schwierig wahrzunehmen

unzureichend ventilierter Brand

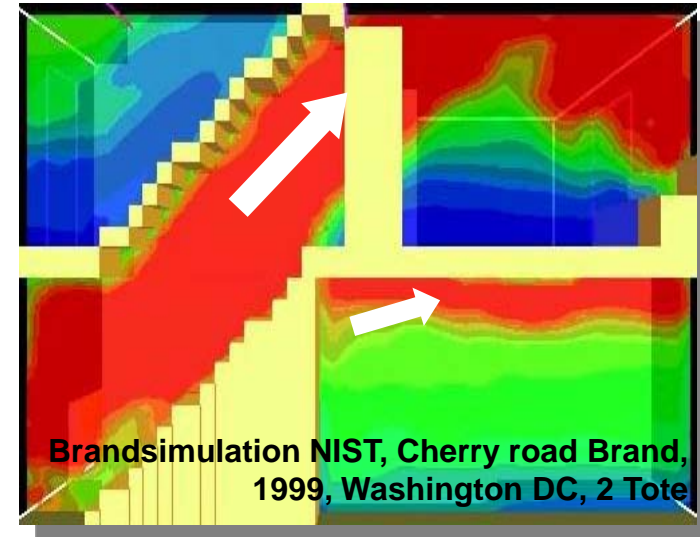


# Rauchströmung

RLWF

Heißer Rauch steigt auf...

- Rauchdichte < Luftdichte
- Sucht höchsten Auslass (Decke, Flur, Treppenhaus)
- 'Kamineffekt'
- Wird von horizontalen Hindernissen gebremst dann horizontale Rauchausbreitung
- Heiße Brandgase ⇒ sekundäre Brände



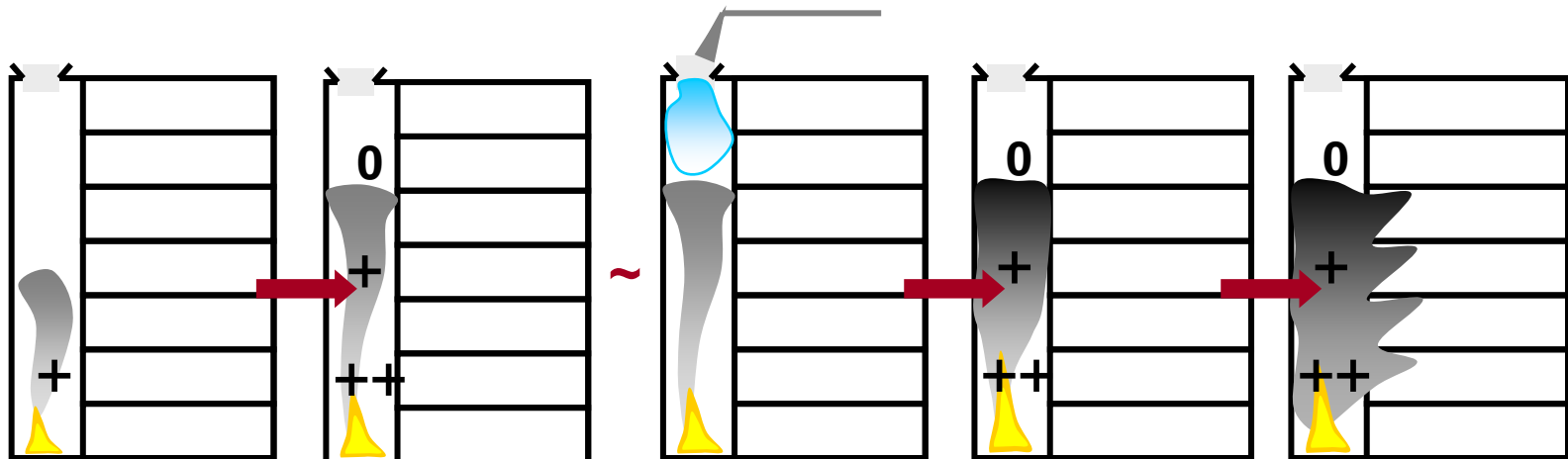
Rauch in großer Entfernung vom Brand?

- Ventilations-, Technik-, Aufzugschächte
- Abgehängte Decken,...
- Kann zu Sekundärbränden führen – Rauchgasexplosion

Je weiter Rauch wandert, desto kühler wird er

- Dichte von kaltem Rauch  $\geq$  Dichte von Luft
- Aufsteigen des Rauchs unterbrochen
- Vertikale Ausbreitung des Rauchs ("Mushrooming")
- Typisch bei Hochhausbränden mit hohe Außentemperaturen z.B. im Sommer
- Kein Wasser in Ventilationsöffnungen geben!
- Wasserdampf, Wasser kühlt Gase und verursacht 'mushrooming' und horizontale Ausbreitung

Wichtig: Wahl der Ventilationsöffnungen



- Neutrale Schicht
  - Sinkt langsam - Brand entwickelt sich
  - Plötzliches Absinken - Flashover steht unmittelbar bevor
  - Schnelles Heben - Ventilation setzt ein
- Langsame, laminare Strömung
  - Entstehungsbrand, frühes Stadium
- Schnelle, turbulente Strömung
  - Intensiver, Ventilations-kontrollierter Brand
- Pulsieren, ansaugen von Luft, pfeifende Geräusche,...
  - Unzureichend ventilierter Brand - Backdraft-Gefahr
- Ausströmender Rauch gegen den Wind
  - Sehr heftiger, intensiver Brand



[www.pompier.org](http://www.pompier.org)

# RLWF - *Wärme*

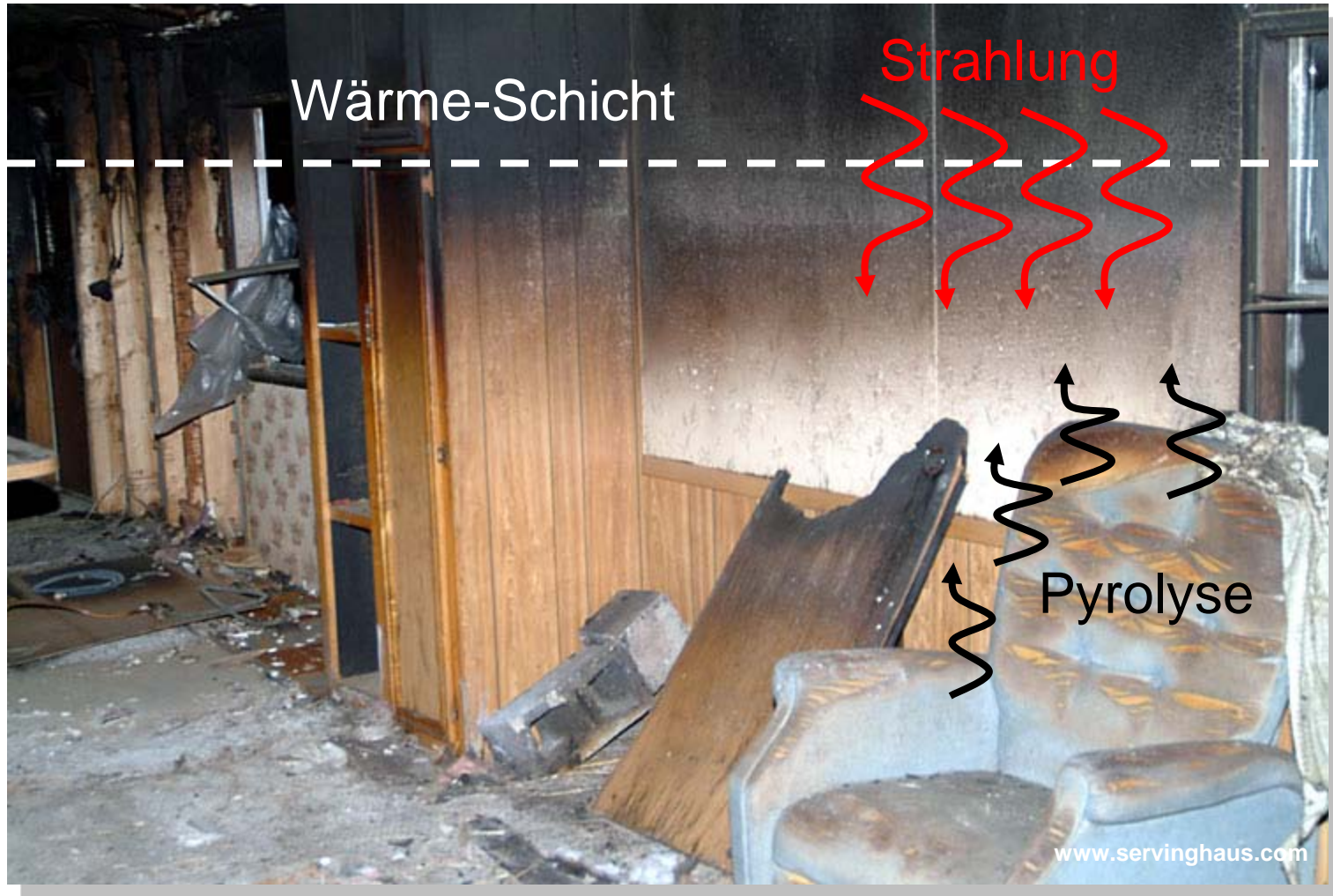
*SAHF: Smoke, Air flow, **Heat**, Flame*

- Temperaturanstieg
- Pyrolysegase / Wasserdampf
- Flammen (RLWF)
  
- Anzeichen innen/außen?
  - Rußablagerungen
  - Entfärbung, Ablösen
  - Schmelzen, biegen, ...
  - Verbrennen, verkohlen, ...
  - Abplatzen, Rissbildung, ...

Sichtbarkeit der Anzeichen ?









# Temperaturen

RLWF

°C	Auswirkung	°C	Auswirkung
75-110	PVC schmilzt (Abflussrohre)	327	Blei schmilzt
85-121	PU schmilzt (Matratzen)	349	PE zündet
100-120	PS schmilzt (Styropor)	416	PU zündet
107-124	PE-LD schmilzt (Plastikfolien)	419	Zink schmilzt
122-137	PE-HD schmilzt (Bierkasten)	488-496	PS zündet
120-150	Holz verkohlt	550	Stahl verliert >50% Stärke
125	Gips dehydriert; Mörtel löst sich	580	PC zündet
140-150	PC schmilzt (Oberlichter)	600-660	Aluminium schmilzt
150	Pyrolysiertes Holz entzündet sich	760	Ziegelwand stürzt ein
150	Papier entfärbt sich	1080	Kupfer schmilzt
150-180	Teer schmilzt	1100	Stahl schmilzt
190-260	Holz zündet	1200	Gusseisen schmilzt
218-250	Papier zündet		



- Erwähnte Temperaturen sind Objekt-Temperaturen, Lufttemperatur ist viel höher
- Schmelzen-entzünden
  - Abhängig von der Form
    - Leicht & dünn  $\leftrightarrow$  dickes, solides Material
  - Inhalt
    - Wasser als Inhalt führt zur Kühlung
- Pyrolysegase
  - Entstehen bei Temperaturen knapp unterhalb dem Schmelzpunkt
  - Gase entzünden sich bei niedrigerer Temperatur als Zündtemperatur für erste Flammen
- Wasserdampf entsteht bei  $T \approx$  oder  $> 100^\circ\text{C}$
- Lesen der Temperaturen = **Isolierung bewerten!** z.B. Kellerbrand

°C	Ort
600-1000	Decke
250-300	Schulterhöhe
180	Bodennähe
>600	Gesamter Raum bei Flashover

Schutzkleidung bietet maximal 10s Schutz beim Flashover !!!



## Verbrennungen als Funktion der Hauttemperatur

48°C	Verbrennung 1. Grades
55°C	Verbrennung 2. Grades
>55°C	Verbrennung 3. Grades
62°C	Taubheit
72°C	Sofortige Hautschädigung

Verbrennungen sind Funktionen von  
Zeit und Temperatur

### Nomex

T > 250°C Entfärben, Schutzwirkung  $\cong$   
T > 450°C Verkohlung, Schutzwirkung  $\downarrow$





Gallet F1 - Polyamid  
250°C 5 min Blasen in  
nachleuchtender Schicht  
10 min Entfärbung,  
14 min Verkohlung,  
15 min Härte gibt nach



**Textil-Phenol-Kunstharz**  
**NICHT zur**  
**Brandbekämpfung**



**VERBOTEN**  
**DIN „Leder“**



**NICHT zur**  
**Brandbekämpfung**  
**DIN „Kunststoffeinsatz“**



**bedingt einsetzbar**  
**DIN „Gewebe“**

# Schmelzen, biegen...

RLWF





# Entfärbung, Ablösen...

RLWF



[www.flickr.com](http://www.flickr.com)



# Verbrennen, verkohlen...

RLWF



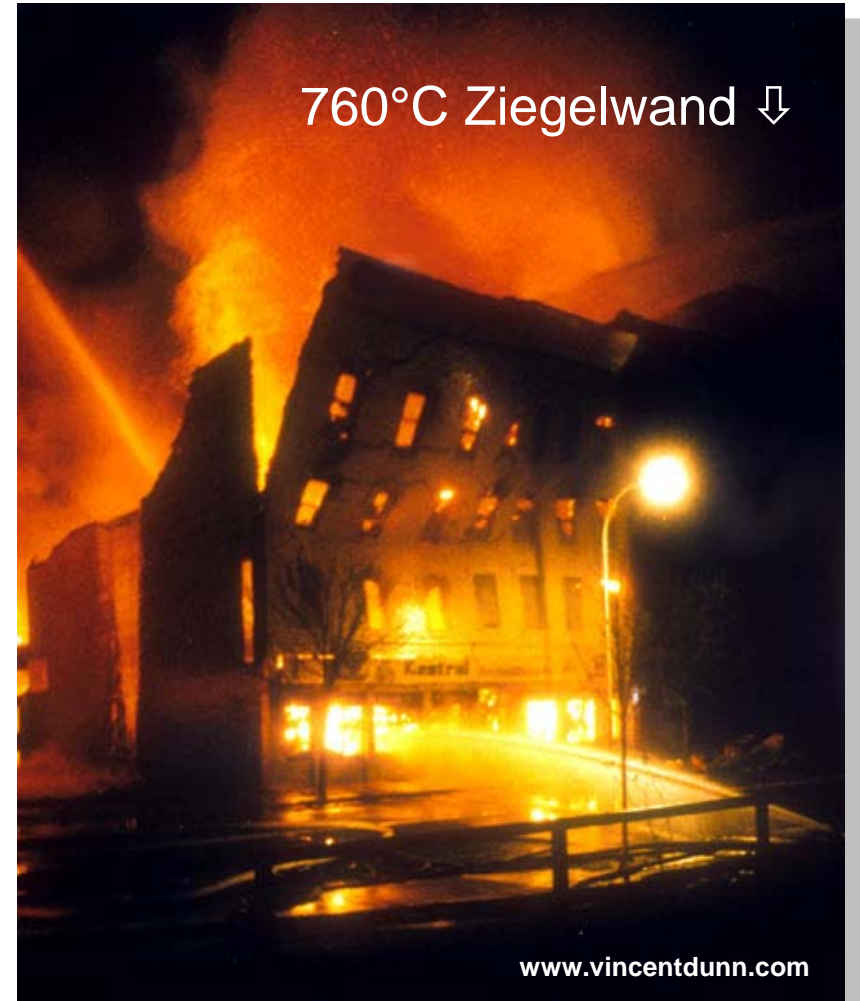
Beton - Haarrissbildung  
Bildung von Spalten,  $T \uparrow$



Beton - Abplatzen

Beton legt Stahl frei,  $T \uparrow \uparrow$   
ungleiche Ausdehnung von Stahl/Beton





# Ölige Rußrückstände

RLWF

- Unzureichend ventilierter Brand
- Backdraft-Gefahr !!
- Schwarz-braune Ablagerungen
- Ölig, tropfend,...
- Schmale Lücken, Haarrisse



- Temperatur-Anzeichen
- Temperatur hinter einer Tür ?
  - Sprühstrahl, Achten auf Verdampfung ⇔ hölzerne Tür ?
  - Temperatur mit behandschuhter Hand fühlen
- Plötzlicher Anstieg der Temperatur = Warnung vor bevorstehendem Flashover
- Regelmäßiger Temperaturecheck
  - Sprühstrahl in Rauchsicht
    - Wasser kommt zurück  $T < 100^{\circ}\text{C}$
    - Wasser verdampft  $T > 100^{\circ}\text{C}$
  - Handgelenk-Check
    - Schmalen Hautstreifen zwischen Jacke und Handschuh freilegen

Regelmäßige Temperaturchecks = Brandentwicklung vorwegnehmen



[www.firetactics.com](http://www.firetactics.com)

# RLWF - *Flammen*

SAHF: Smoke, Air flow, Heat, **Flame**

# Flammenfarbe

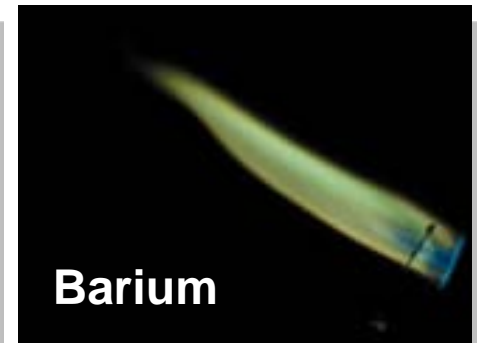
RLWF

Was brennt?

- Sinnvoll in Laborversuchen
- Trügerisch in der Realität!

Wie brennt es?

- Ventilationsart
- Erreichte Temperaturen



[www.experimenten.nl/vlamkleur](http://www.experimenten.nl/vlamkleur)

- Diffuse Flammen

- Entzündliches Gas und  $O_2$  anfangs getrennt
- Verbrennung bei UEG
  - Laminar : langsam, gleichmäßig, ungestörtes Muster
  - Turbulent : ungleichmäßiges Muster

- Vorgemischte Flammen

- entzündliches Gas und  $O_2$  vor Entzündung vermischt

Verhältnis Brennstoff/Sauerstoff  
beim Zünden





diffus-laminar



diffus-turbulent



vorgemischt

## Vorgemischte Flammen

- Selten, da bestimmtes Brennstoff/Luft-Gemisch nötig
- 'Rauchtaschen' (Kohlenmonoxid) an neutraler Schicht
- Nahe an Öffnungen, Kontakt mit  $O_2$
- Vollständige Verbrennung
- Manchmal Aufschluss von Flammenfarbe auf Brennstoffmaterial

## Diffus-turbulente Flammen

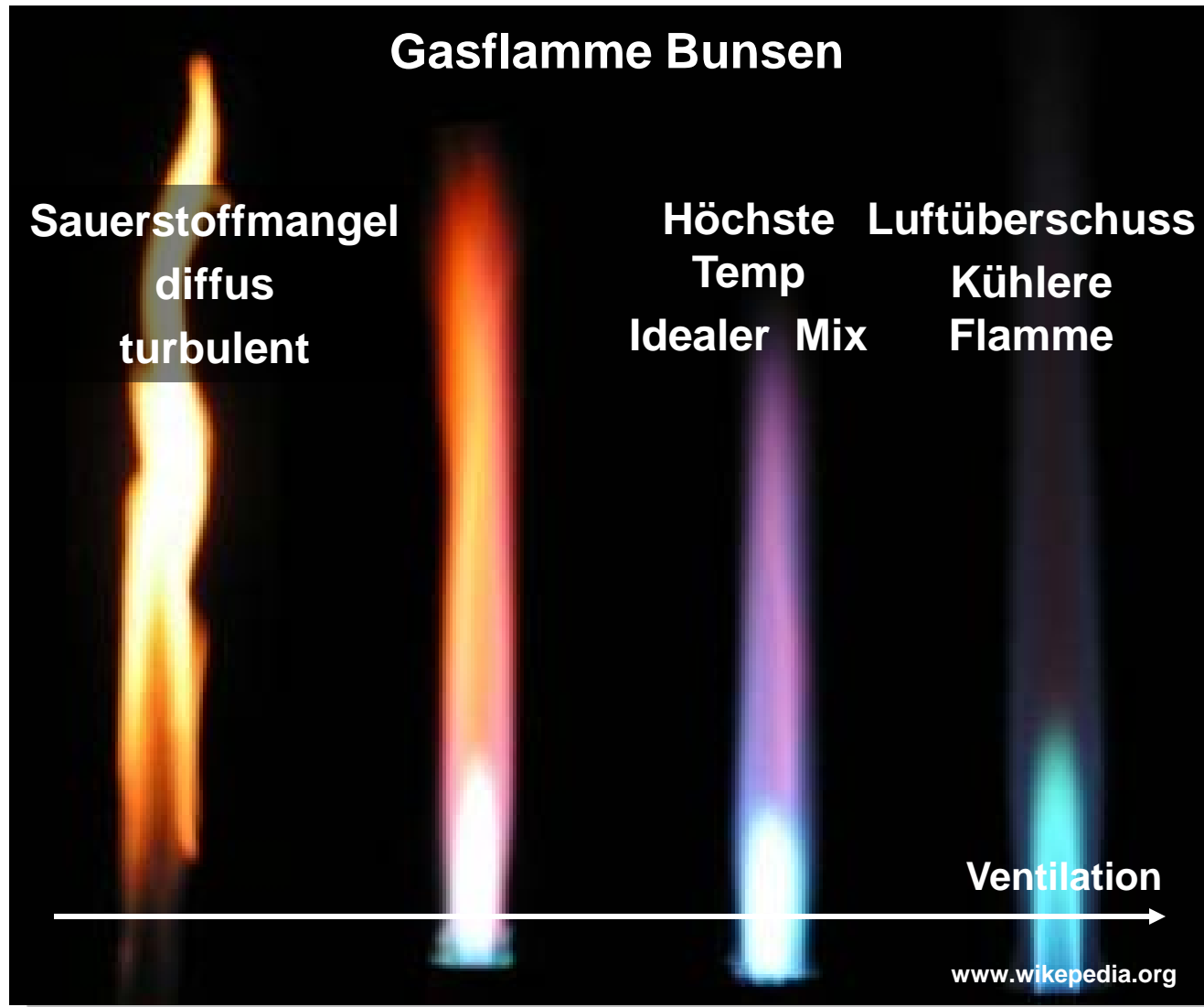
- Reale Brände
- Ungleichmäßiges Muster
- Ungleichmäßiger Reaktionsbereich
- Unvollständige Verbrennung



[www.firehouse.com](http://www.firehouse.com)

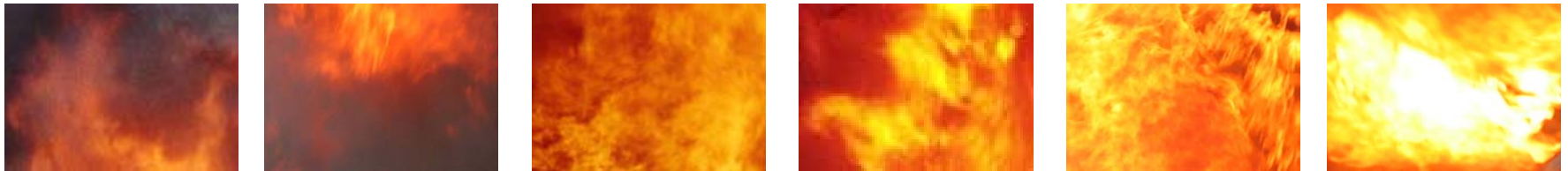
- Wärmefreisetzung
- Qualität der Verbrennung
  - ⇒ Flammentyp
  - ⇒ Flammenfarbe
  - ⇒ Temperatur
  - ⇒ Ruß/CO/unvollständige Verbrennung
  - ⇒ 'Stärke' der Zündquelle
- Gelbe Flamme
  - Glühende Kohlenstoffpartikel
- Blaue Flamme
  - Vollständige Verbrennung  $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$





## ▪ Flammentemperatur - Flammenfarbe

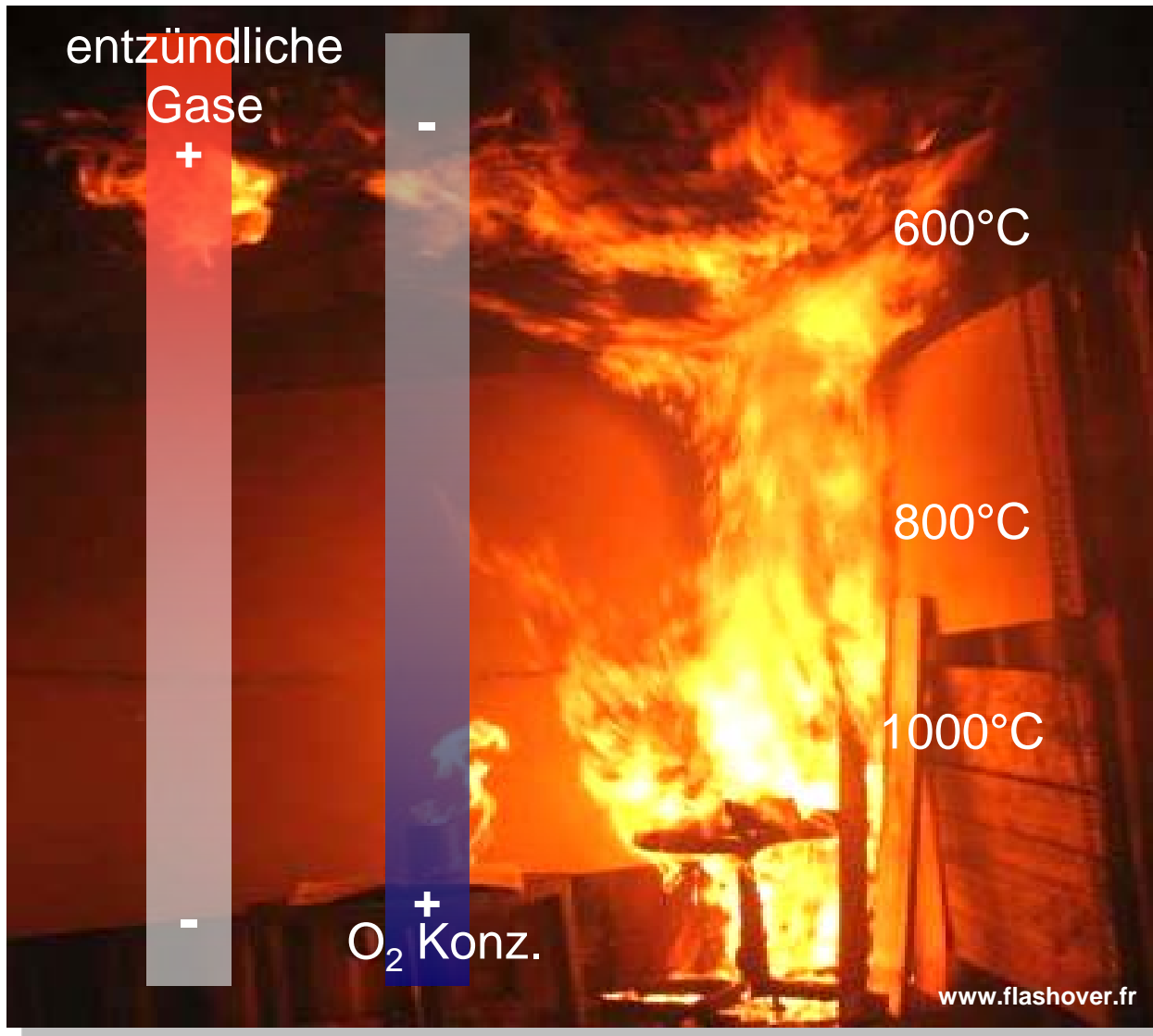
- Weiß 1000°C oder mehr
- Gelb 800°C
- helles Rot 600°C



Temperatur  
Ventilation

# Flammenfarbe

RLWF



Langsam rollende Flammen, langsame Wellen, rot-orange

- Brennstoff-reiche Verbrennung
- Roll-over, Vorzeichen für Flashover
- Entzündung heißer Brandgase in Nähe von Auslassöffnungen

kurze, unruhige, schnelle Flammen, gelb

- Verbrennung von Pyrolysegasen, nahe dem Brandherd
- Verstärkte Verbrennung  $\Rightarrow$  Ventilationsöffnung oder Luftströmung

Blaue Flammen nahe der neutralen Schicht

- Entzündung von «CO-Taschen» durch Funken oder Flammenkontakt
- Vorgemischte Verbrennung
- Erhöhte  $T \uparrow$ , Vorzeichen für Roll-over und Flashover









Photo NIST

# Zusammenfassung

RLWF

- ⇒ R auch  
Farbe, Dichte, neutrale Schicht, ...
- ⇒ L uftströme  
Geschwindigkeit, Richtung,  
Neutrale Schicht, ...
- ⇒ W ärme  
Plötzlicher Wärmeanstieg,  
Temperaturcheck...
- ⇒ F lammen  
Flammenfarbe, Flammenart, ...



Möglichst viele unterschiedliche Anzeichen im  
Zusammenhang bewerten!  
Alle Anzeichen stehen im Zusammenhang!



# ***RLWF***

-

# ***Fallstudien***



Front, [www.flashover.fr](http://www.flashover.fr)



Rückseite, [www.flashover.fr](http://www.flashover.fr)



1. Schwarzer Rauch weist auf vorhandene Flammen hin
2. Beschädigung des Rollos deutet auf Wärme hin
3. Grauer Rauch (Pyrolyse) aus angrenzendem Raum



Folgerung :

- Hinter dem Rolladen entwickelt sich ein Feuer schnell !!
- Pyrolysegase deuten auf möglichen Weg der Brandausbreitung hin







BF Osnabrueck

1. Schwarzer Rauch weist auf vorhandene Flammen hin, oder aber auch Rauch von angrenzendem Feuer
2. geschmolzene Fenster
3. Brennende Verkleidung? Verursacht durch Explosion/ starkes Feuer oder Wärmestrahlung/-Leitung von innen?  
Schwarz/grauer Rauch
4. Feuer im linken Raum
5. Feuer und Rauchablagerungen über Eingangstür
6. Gefährliche Chemikalien ?

## Folgerung :

- Starkes Feuer mit wenig sichtbarem Rauch? Gibt es eine andere Öffnung?
- Brandbekämpfung nach Explosion ?
- Brandausbreitung nach rechts ?











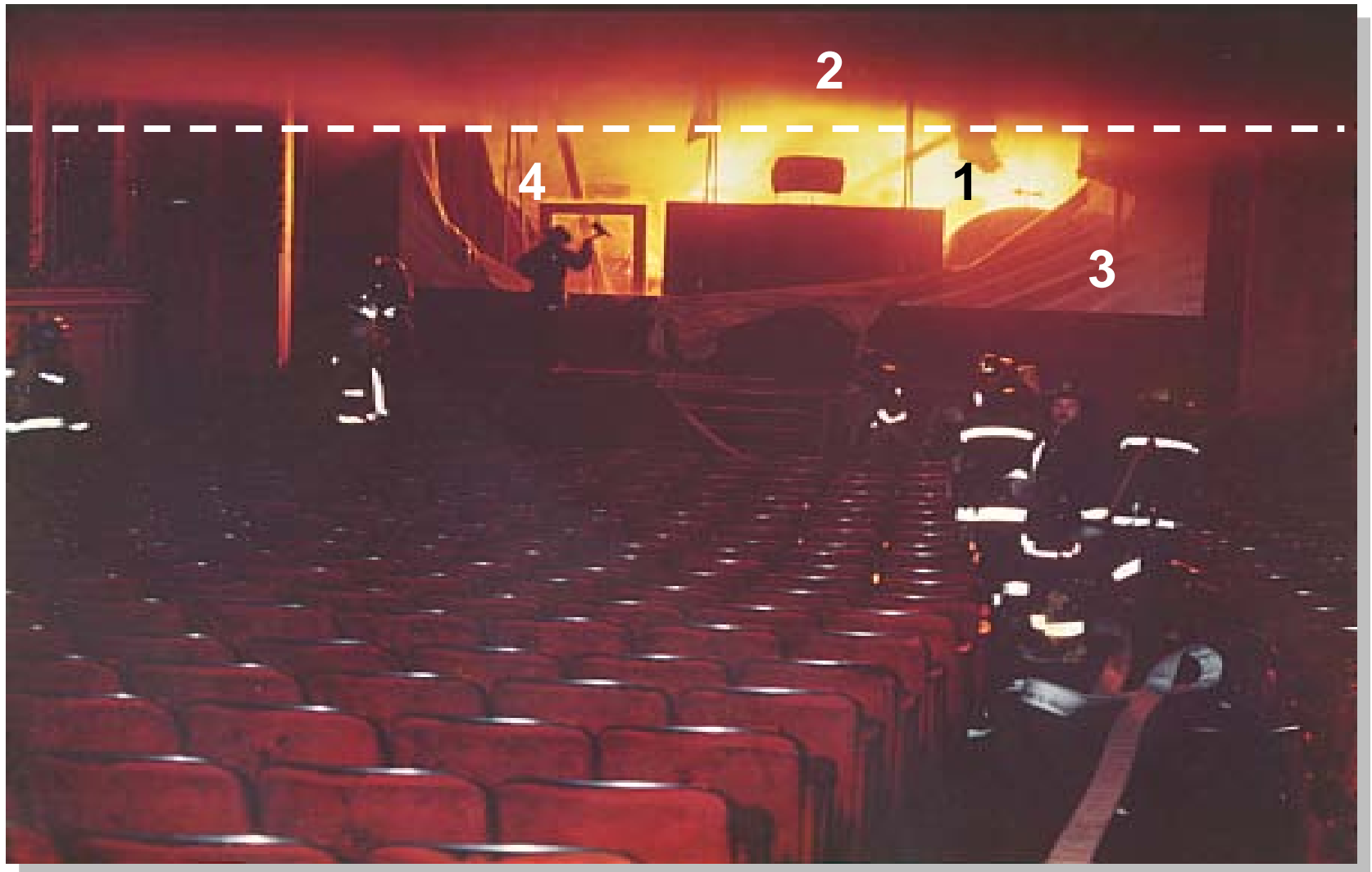


1. Viel bräunlich/grauer Rauch = Pyrolysegase
2. Rauch drückt aus Garagentor, gegen den Wind
3. Rauch drückt aus Fenster und Spalten auf der linken Seite
4. Wenig bis kein Rauch tritt aus Eingangstür aus  
Rauchschicht oberhalb der Tür ? - - - -
5. Flammendurchschlag, dunkle Flammenfarbe, fette Verbrennung
6. Unterschiedliche Höhen des Gebäudes beachten ———

## Folgerung :

- Backdraft möglich !
- Brand höchstwahrscheinlich rechts im hinteren Bereich
- Entschluss ⇒ Ventilieren mit hoher Öffnung !
- Gibt es anderen Eingang ?

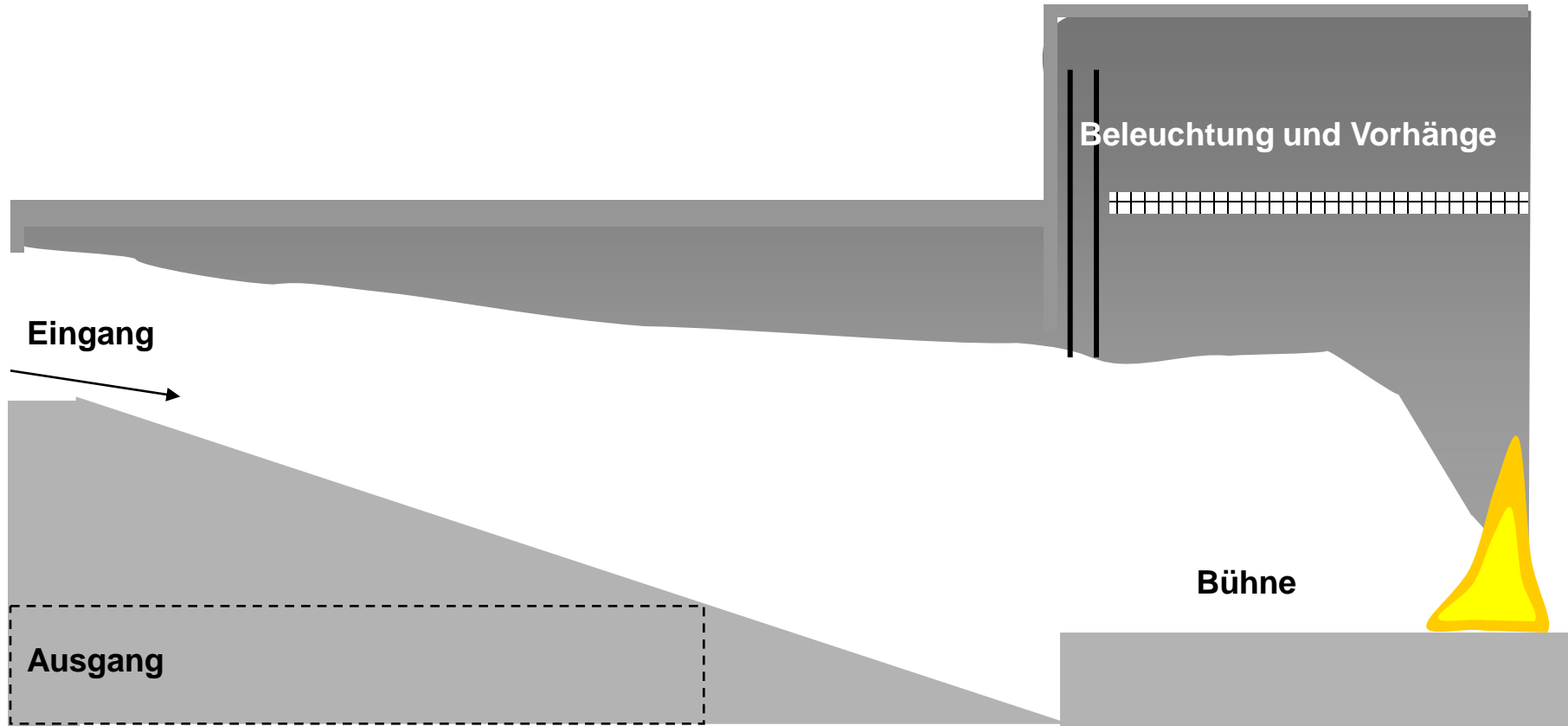




1. Weit entwickelter, gut ventilierter Brand! Hohe Temperaturen vorhanden !
2. Deutliche Rauchsicht in Deckennähe
3. Brand hat Vorhangaufhängungen beschädigt, was auf hohe Temperaturen in der Rauchsicht hinweist
4. Pyrolyseprodukte gasen aus Kulissen aus

## Folgerung :

- Flashover steht unmittelbar bevor !!!
- Aufenthaltsorte?/Pressluftatmer/Wasserversorgung?
- Keine sicheren Bedingungen !!



- Menge der brennbaren Brandgase, die durch die Konstruktion verdeckt sind
- Wahl des Angriffswegs ? Fluchtwege?

Freitag 05/08/2005 04:00 Uhr

Feuer im Erdgeschoss eines Mehrfamilienwohnhauses

Treppe vom Brand zerstört

Such- & Rettungseinsatz auf 2. und 3. OG über DLK

Beim Betreten des 3. OG wird bräunlicher Rauch beobachtet, der aus dem 2. OG austritt

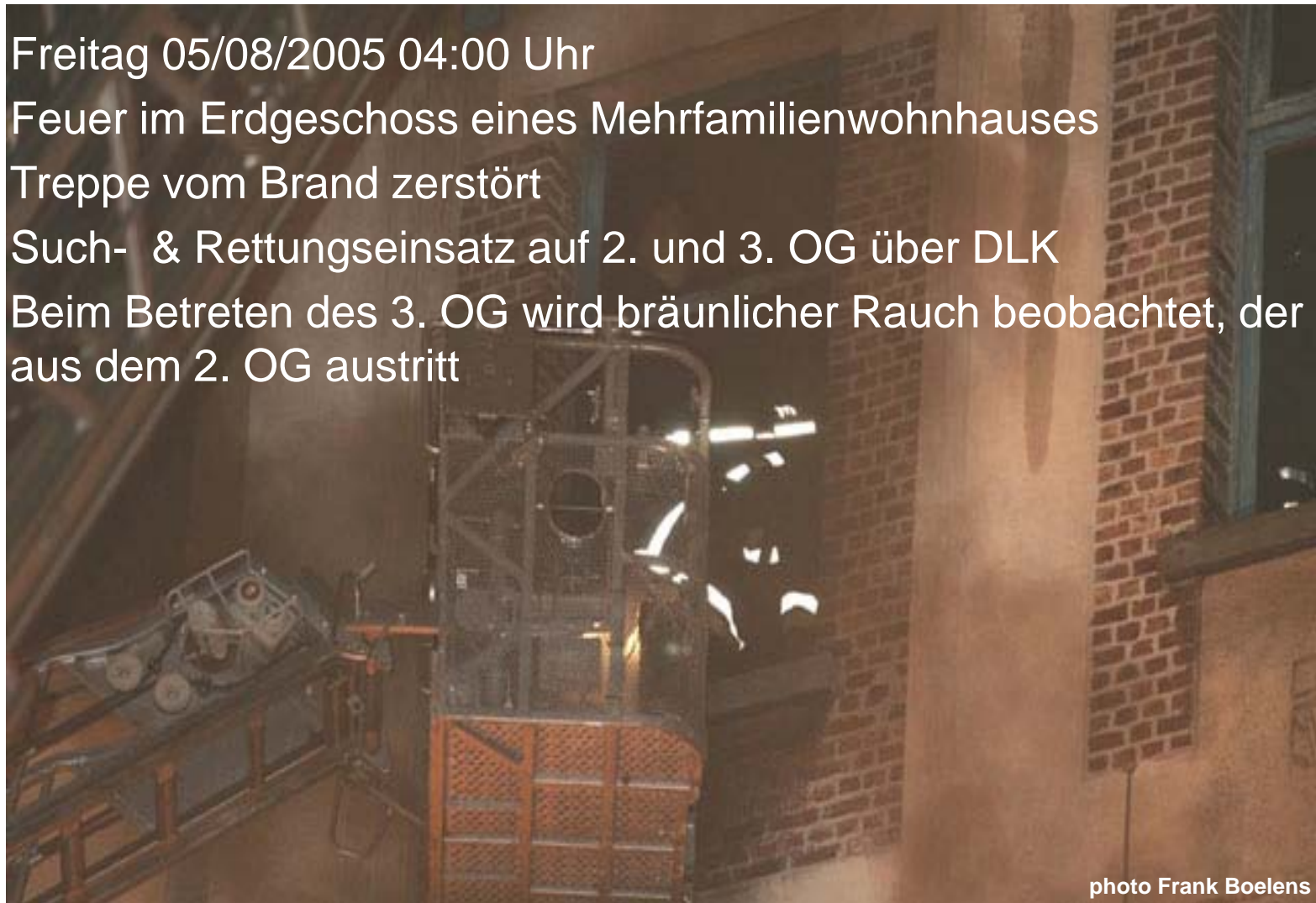


photo Frank Boelens

# Fall 6

# RLWF



# Fall 6

# RLWF



photo Frank Boelens



photo Frank Boelens



# Fall 6

# RLWF





photo Frank Boelens

# Fall 6

# RLWF



## Mögliche Ursachen :

- Vorher erreichte Brand im EG die Treppe
- Feuer im hölzernen Treppenraum breitete sich weiter aus
- Oder fliehender Bewohner ließ Tür offen
- Brand im Treppenraum wurde durch Wenderohr von DLK gelöscht
- Schwelende Matratze wurde nicht gelöscht
- S&R-Trupp führte keine Schlauchleitung mit sich
- S&R-Trupp stoppte nicht die Suche im 2. OG, als er die Matratze bemerkte
- S&R-Trupp ging weiter in das 3. OG vor
- Schwelende Matratze verursacht Wiederentzündung
- Brand entwickelt sich zu schnellem Flashover

# Quellen

- Reading Fires, Shan Raffel, <http://uqconnect.net/~zzsraffe/>
- Enclosure Fires, Lars-Göran Bengtsson, Räddnings Verket
- [www.atemschutzunfaelle.de](http://www.atemschutzunfaelle.de)
- [www.firetactics.com](http://www.firetactics.com)
- [www.flashover.fr](http://www.flashover.fr)
- Nibra, Brandverlauf