

Entrauchung von Garagen – die neue VDI 2053 Blatt 2

Thomas Winkler

Inhalt

- Anwendungsbereich
- Normative Verweise
- Formelzeichen und Abkürzungen
- Aufgaben einer Entrauchungsanlage
- Bauordnungsrechtliche Randbedingungen
- Brandszenarien
- Strömungsbetrachtung
- Dimensionierung
- Bauteilanforderungen
- Regelung, Steuerung, Auslösung Inbetriebnahme, Prüfung, Instandhaltung
- Anhänge

Anwendungsbereich

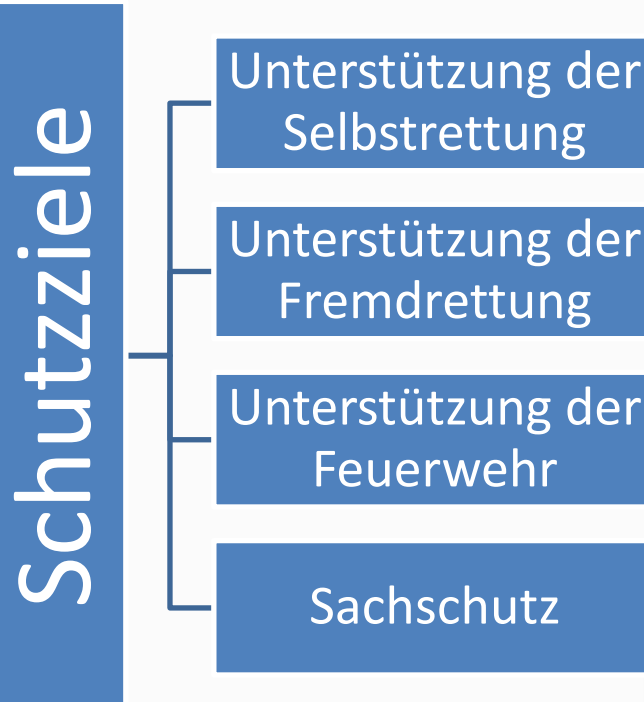
- Die Richtlinie VDI 2053 Blatt 2 gilt für natürliche und maschinelle Entrauchungsanlagen in geschlossenen Garagen
- Automatische Garagen werden nicht behandelt
- Die Richtlinie gilt für Fahrzeuge mit jeglicher Art von Antriebsmaschinen (Verbrennungsmotoren unter Einsatz von Benzin, Diesel, H₂; Elektromotoren auf Basis von Batterien oder Brennstoffzellen)
- Nebenbereiche (Abstellräume) werden nicht berücksichtigt

„Bei Zündung der PKW von aussen oder am Sitz, kann in Übereinstimmungen mit den Feststellungen aus DAST 2021 [9] und SCHAUMANN/MEYER [10] kein signifikant anderer Brandverlauf als bei PKW mit Verbrennungsmotor festgestellt werden, auch nicht bei Mitbrand der Batterien. Teilweise festgestellte Peaks in der Wärmefreisetzung (z.B. Versuch BEV A, WILLSTRAND ET AL. [1]) lassen sich auch bei PKW mit Verbrennungsmotor finden (z.B. Versuch B-ICEV, LAM ET AL. [8]).“

Quelle:

Siemon, M., Rupp, M.: Brandszenarien bei E-PKW. Stand der Wissenschaft. Kasburg Siemon Ingenieure KIG. Basel-Zürich, Sept. 2022

Schutzziele im Bauordnungsrecht

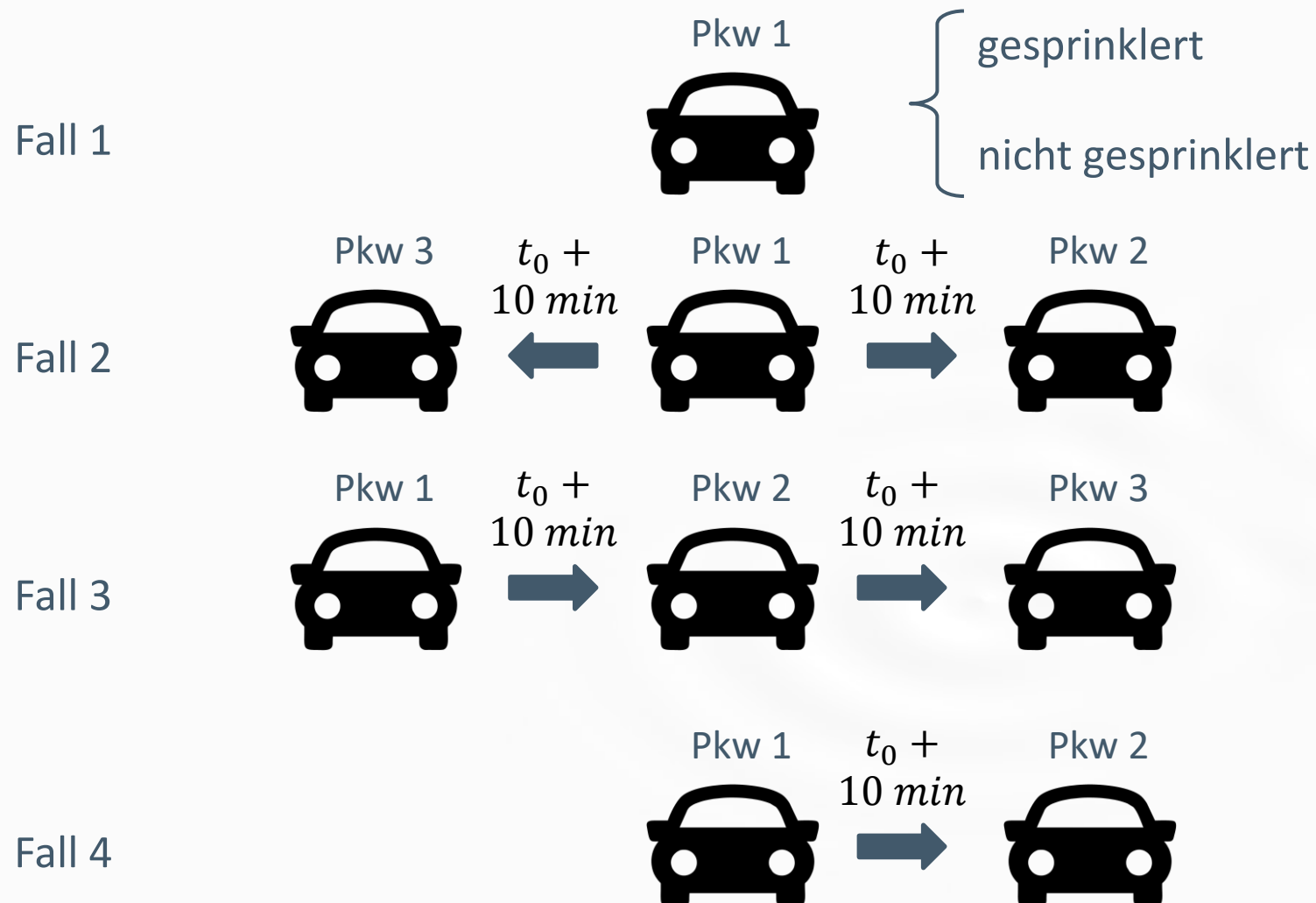


FK Bauaufsicht (Dez. 2012):
Im Regelfall (materielle Grenzen des Bauordnungsrechts sind eingehalten) dient die Rauchableitung der Unterstützung der Brandbekämpfung.

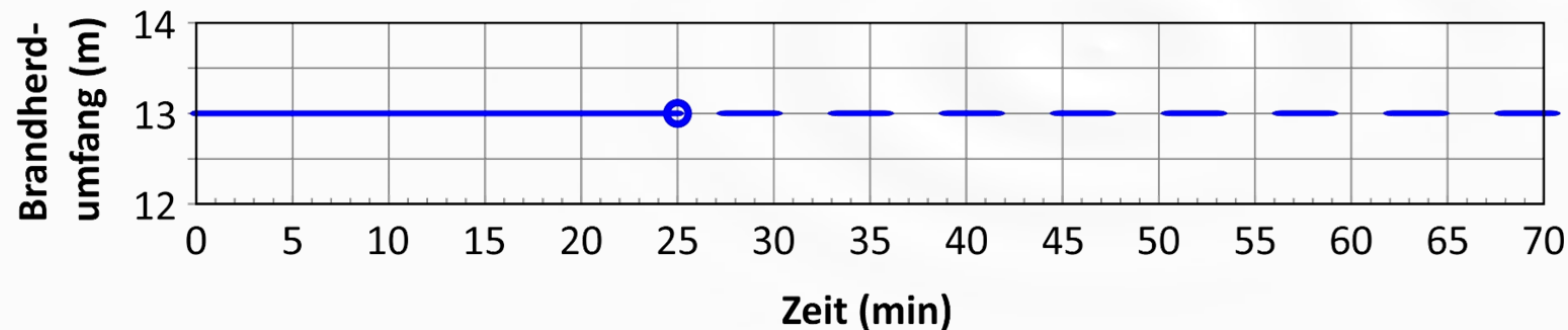
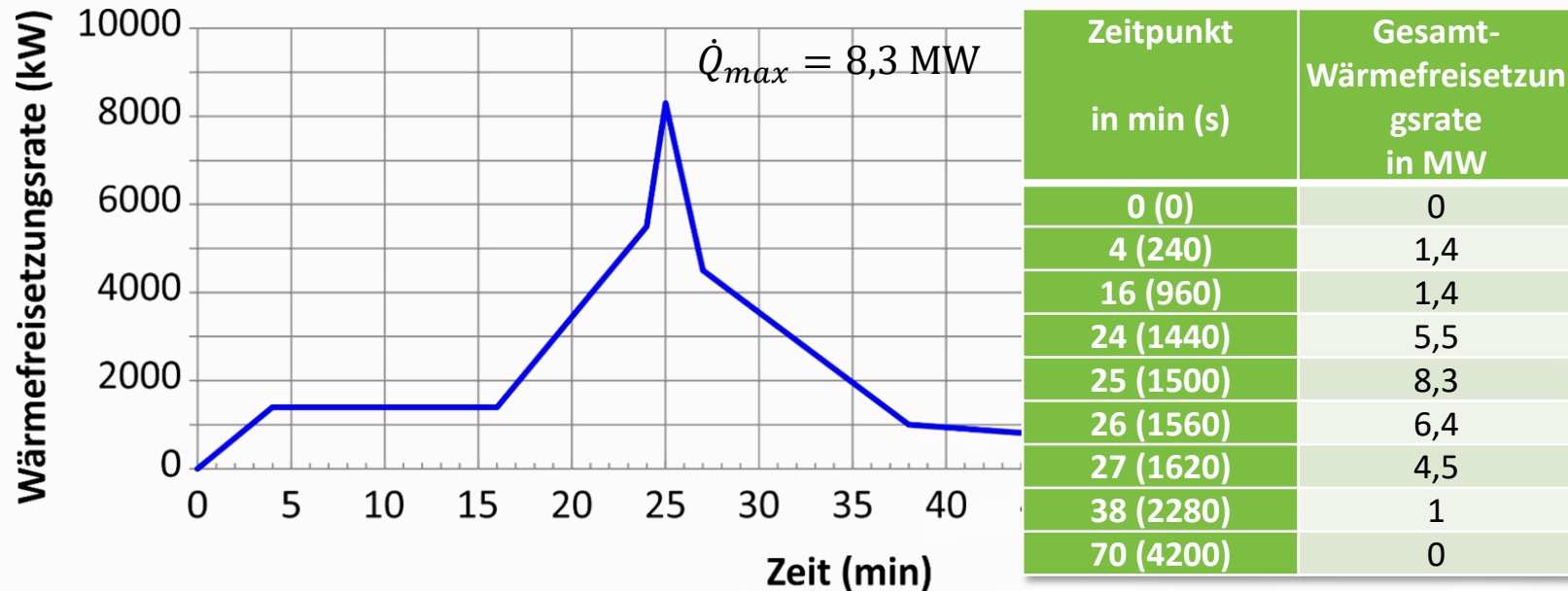
Anforderungen an die Entrauchung nach M-GarVO (Fassung 14, Juli 2022):

- Natürliche Entrauchung:
 - Öffnungen ins Freie mit einer Querschnittsfläche von mind. 1.000 cm² je Stellplatz
 - von keinem Einstellplatz mehr als 20 m entfernt
 - im Decken- oder oberen Drittel des Wandbereichs angeordnet
- Maschinelle Entrauchung:
 - belastbar mit Temperaturen bis 300 °C für mind. eine Stunde
 - Gewährleistung eines mind. 10-fachen Luftwechsels
- Gesprinkelte Garagen:
 - Rauchableitung über Abluftanlage mit mind. 12 m³/(h m²)

Brandszenarien – Anordnungsvariante, zeitliche Entwicklung



Wärmefreisetzungsrate Fall 1 (nicht gesprinklert)



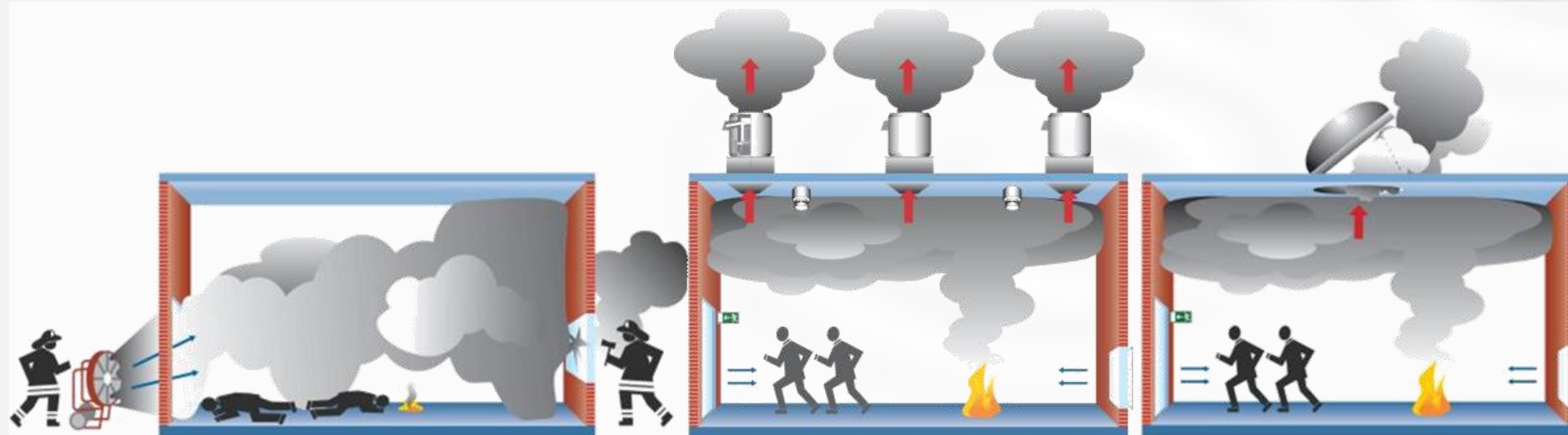
Prinzipien der Entrauchung

Entrauchung durch Verdünnung

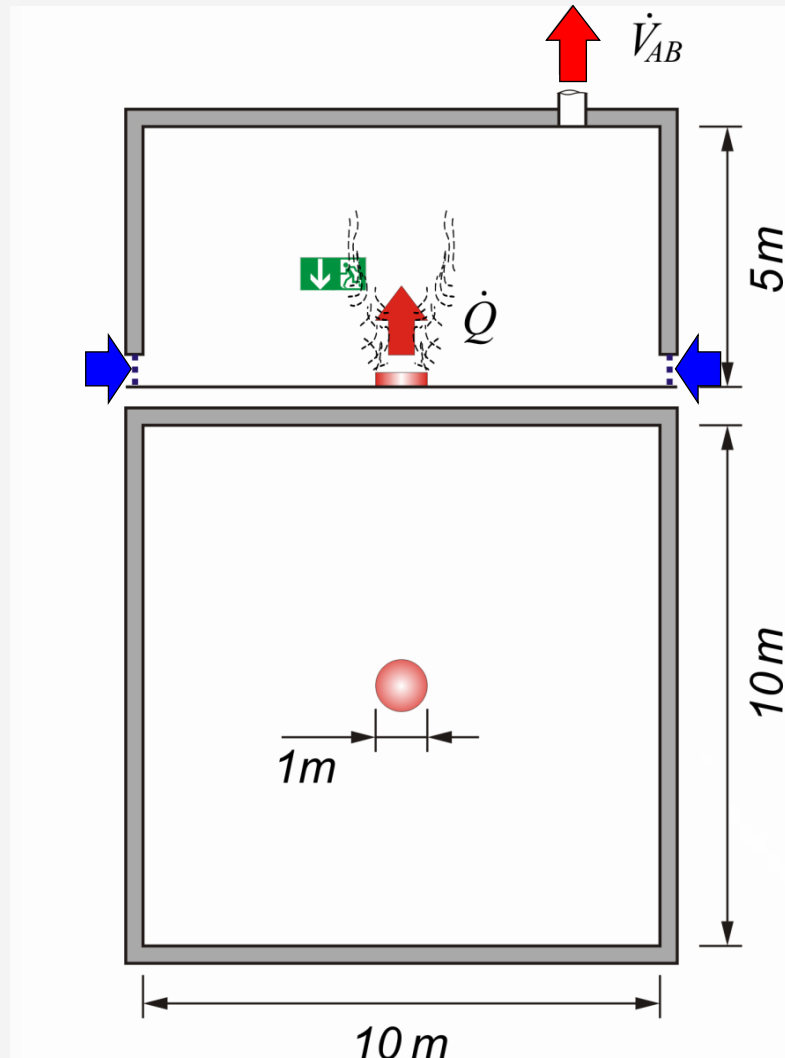
- Ausbildung hochinduzierender Luftstrahlen
- intensive Vermischung von Zuluft und Raumluft
- homogene Verteilung von Rauch im Raum

Entrauchung durch Schichtung

- Ausbildung von zwei Gasschichten mit unterschiedlichen Rauchkonzentrationen (Rauchschicht / raucharme Schicht)
- erfordert bodennahe Zuluftöffnungen mit geringen Zuluftgeschwindigkeiten

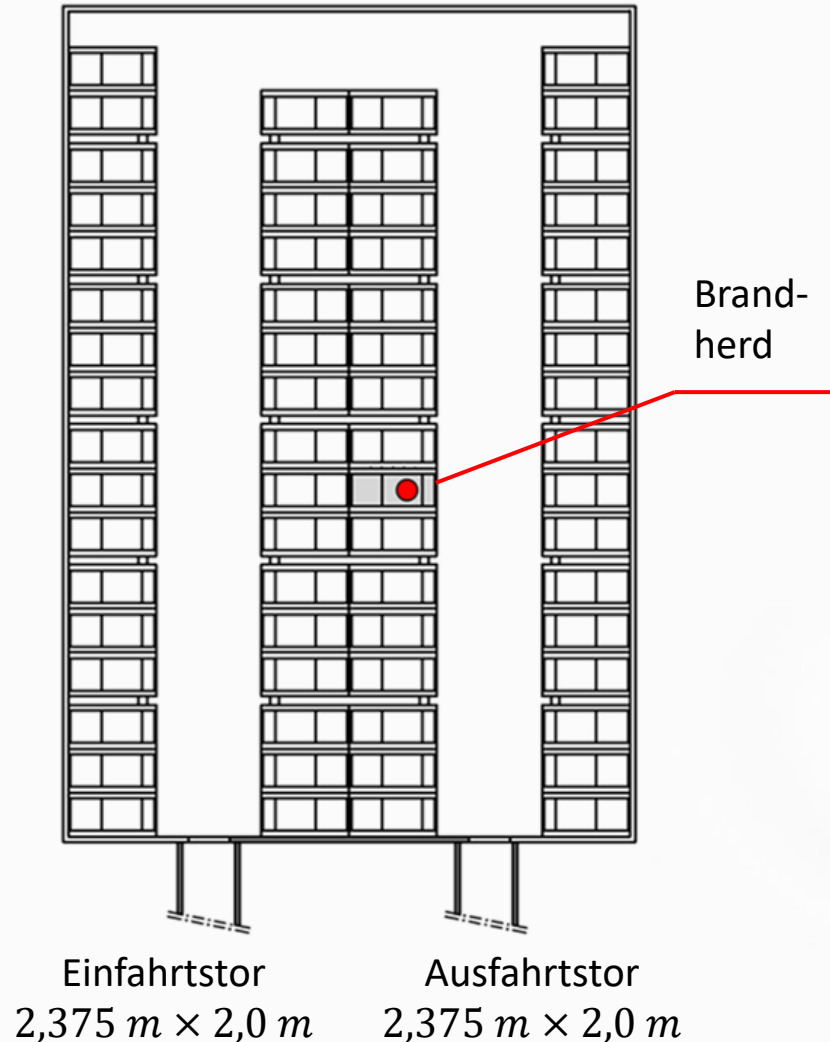


Schichtung vs. Verdünnung



Entrauchung durch Schichtung

Typische (einfache) Aufgabe

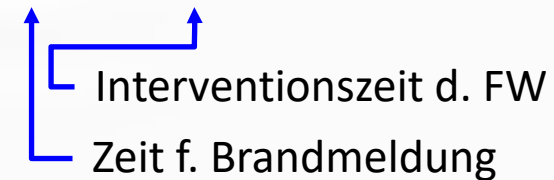


Randbedingungen

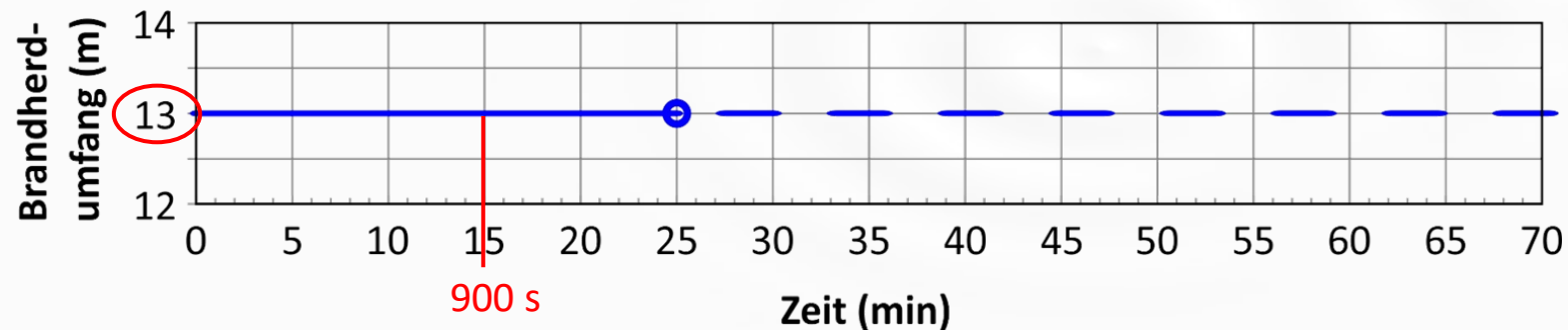
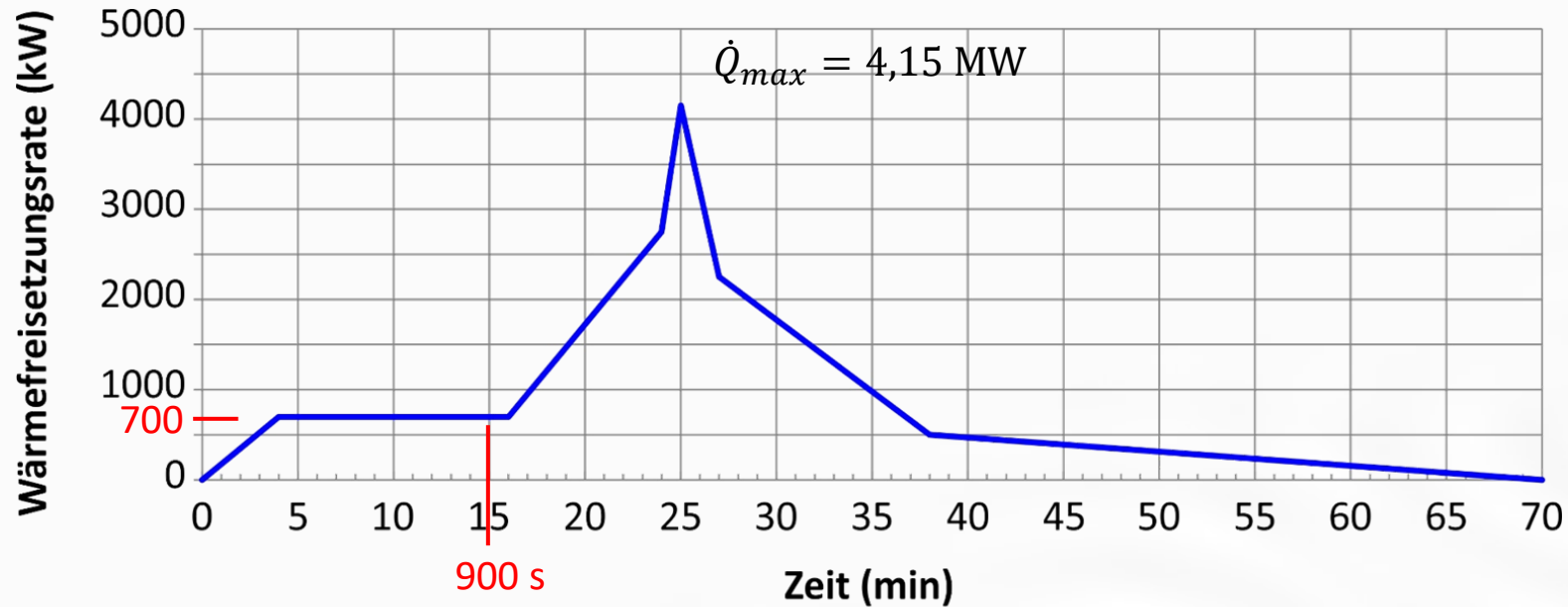
- Nutzfläche 1500 m^2 , 66 Stellplätze
- lichte Höhe $2,5\text{ m}$
- automatische Brandmeldung (RM)
- automatische Löschanlage
- kein Brandüberschlag zu erwarten, ein brennendes Fahrzeug (Fall 1, gesprinklert)
- Schutzziel: Unterstützung der Löscharbeiten

→ Zeitpunkt, zu dem die Löscharbeiten eingeleitet werden:

$$t_{E,FW} = 120\text{ s} + 780\text{ s} = 900\text{ s}$$



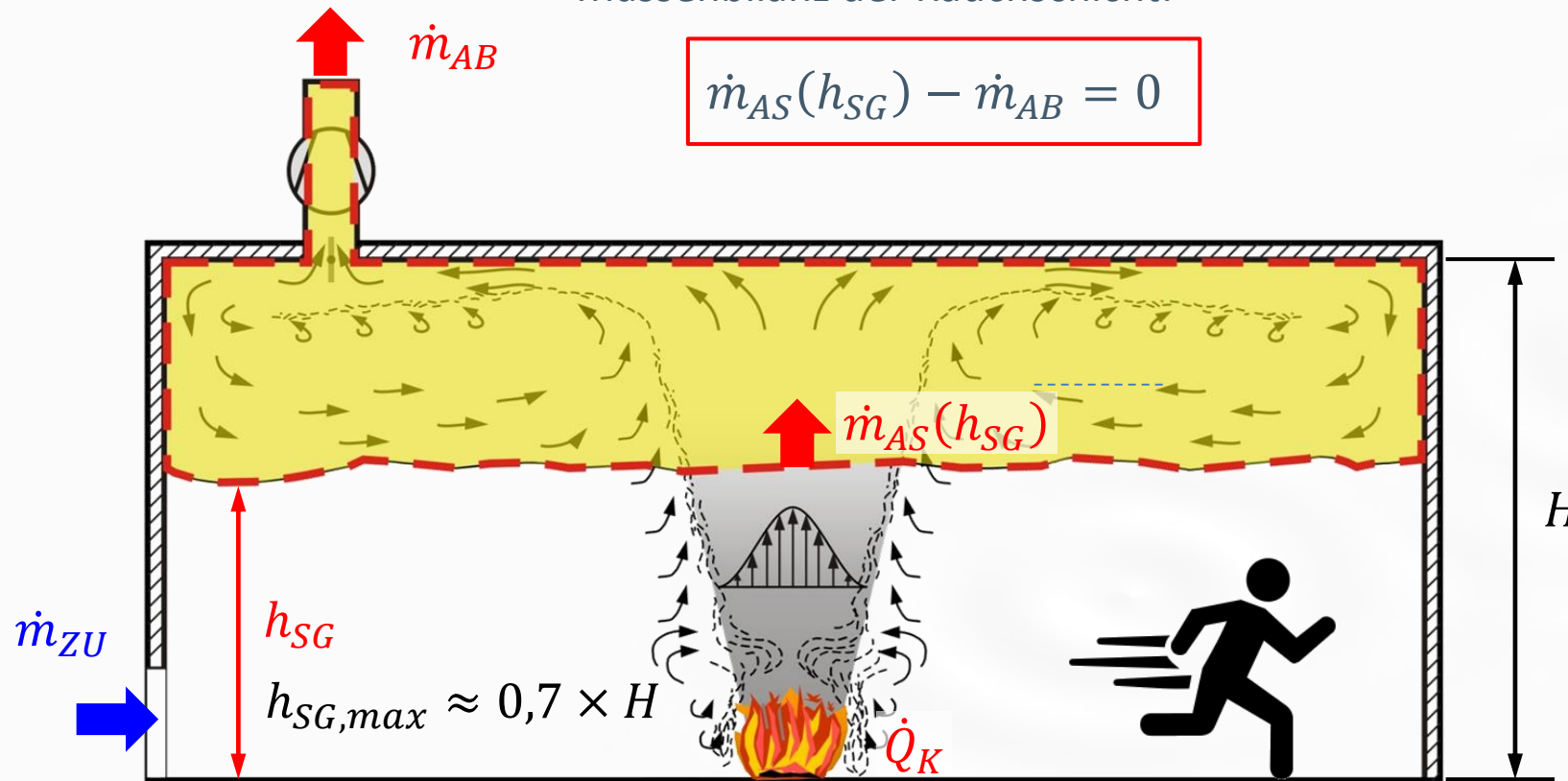
Wärmefreisetzungsrate Fall 1 (gesprinklert)



Schichtung – Modellvorstellung

Massenbilanz der Rauchschiicht:

$$\dot{m}_{AS}(h_{SG}) - \dot{m}_{AB} = 0$$



Schichtung – runder Auftriebsstrahl

$$\dot{m}_{AS} = C_K \cdot \dot{Q}_K^{1/3} \cdot (z - z_0)^{5/3}$$

	C_K in $\frac{kg}{kW^{1/3}m^{5/3}s}$
Zukoski	0,076
Heskestad	0,071
Yih, Th. & H.	0,055

$$\dot{m}_{AS} = 0,19 \cdot U \cdot z^{3/2}$$

mit

\dot{m}_{AS} Auftriebsstrahlmassenstrom in kg/s

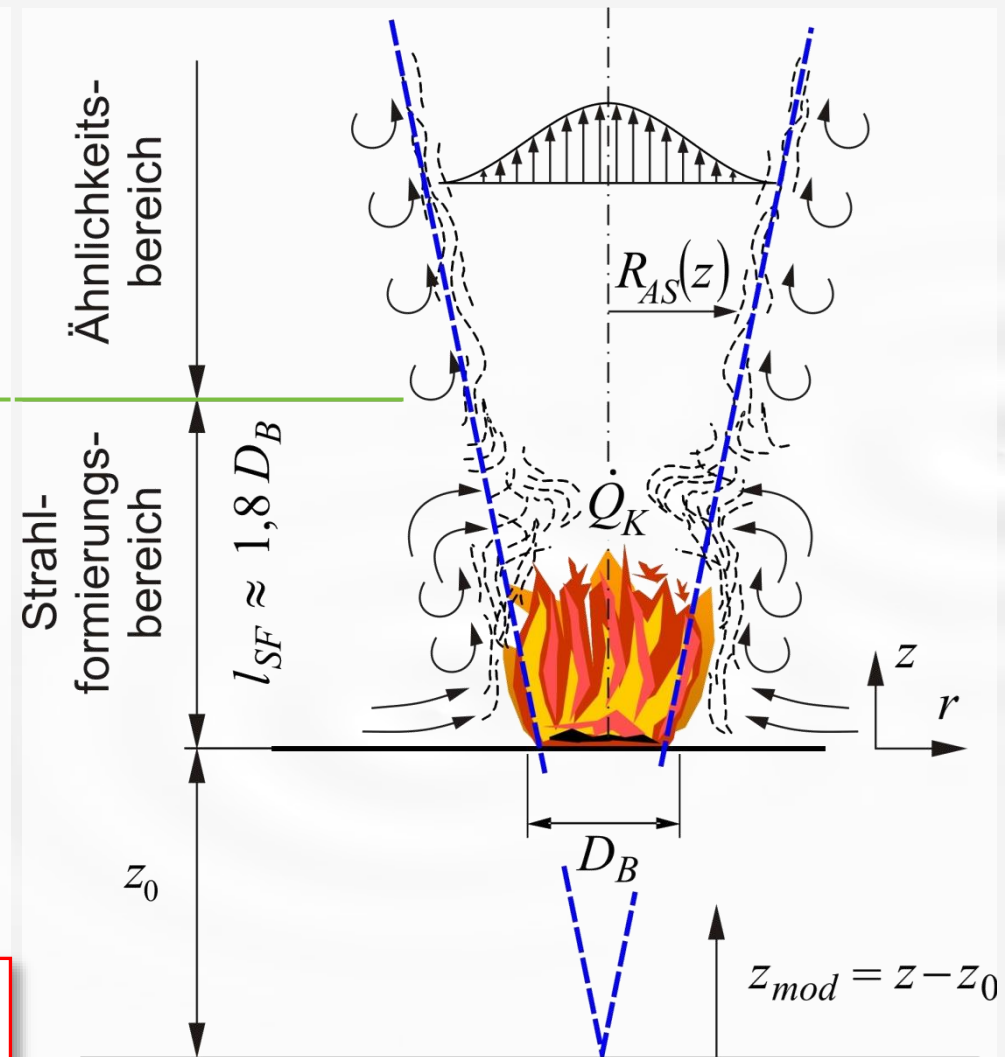
\dot{Q}_K konvektiver Wärmestrom in kW

U Brandherdumfang in m

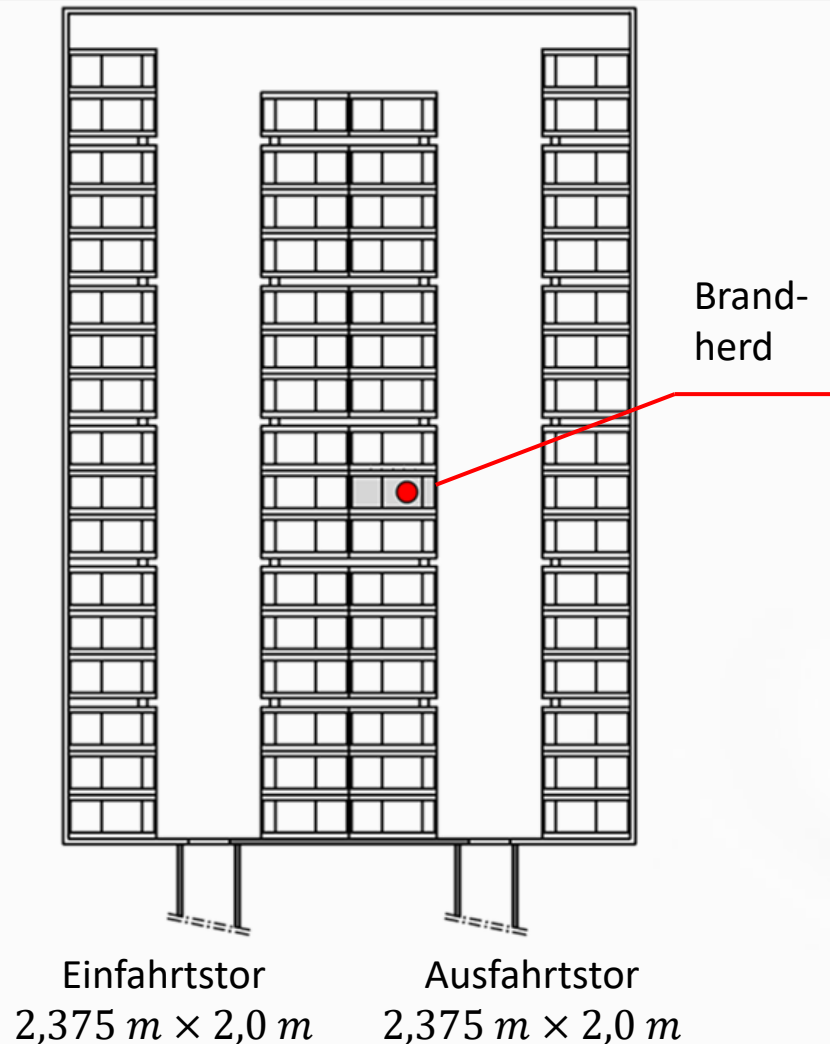
z Vertikalkoordinate in m

z_0 „virtueller Ursprung“ in m

$$z_0 = -1,02 \cdot D_B + 0,083 \cdot \dot{Q}^{2/5}$$



Typische (einfache) Aufgabe



Randbedingungen

- Nutzfläche 1500 m², 66 Stellplätze
- lichte Höhe 2,5 m
- automatische Brandmeldung (RM)
- automatische Löschanlage
- Schutzziel: Unterstützung der Löscharbeiten

max. erreichbare Höhe der raucharmen Schicht:

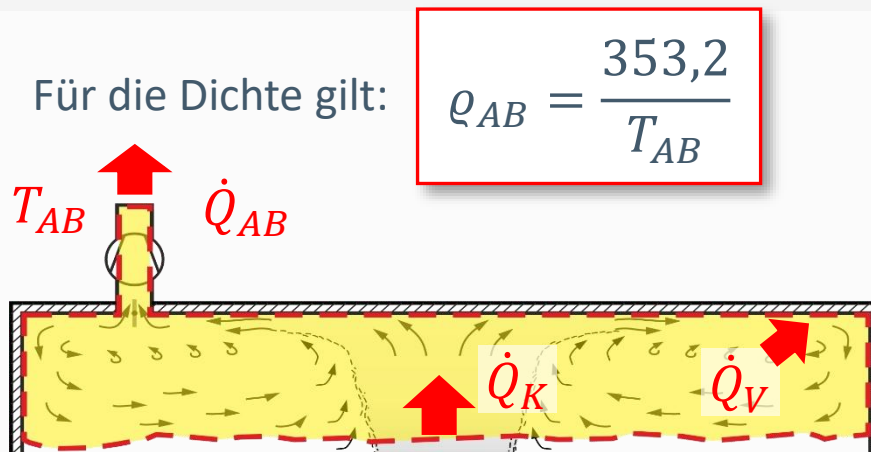
$$h_{SG,max} = 0,7 \cdot 2,5 \text{ m} = 1,75 \text{ m}$$

→ für die Berechnung des Entrauchungsvolumenstroms wird diese Höhe unterstellt.

$$\begin{aligned}
 \dot{m}_{AB} &= \dot{m}_{AS}(h_{SG}) \\
 &= 0,19 \cdot 13 \text{ m} \cdot (1,75 \text{ m})^{3/2} \\
 &= 5,7 \text{ kg/s}
 \end{aligned}$$

$$\dot{V}_{AB} = \frac{\dot{m}_{AB}}{\rho_{AB}}$$

Wärmebilanz für die Rauchschiicht



$$\dot{Q}_K - \dot{Q}_{AB} - \dot{Q}_V = 0$$

mit

\dot{Q}_K konvektiver Wärmestrom in kW, der durch den Auftriebsstrahl in die Rauchschiicht transportiert wird,

\dot{Q}_{AB} über die Entrauchungsanlage abgeführter Wärmestrom in kW,

\dot{Q}_V durch Wärmeleitung und -strahlung an Bauteile abgeführter Verlustwärmestrom in kW.

- Konvektiver Wärmestrom des Brandherdes:

$$\dot{Q}_K = 0,8 \cdot \dot{Q}$$

- Abgeführter Wärmestrom:

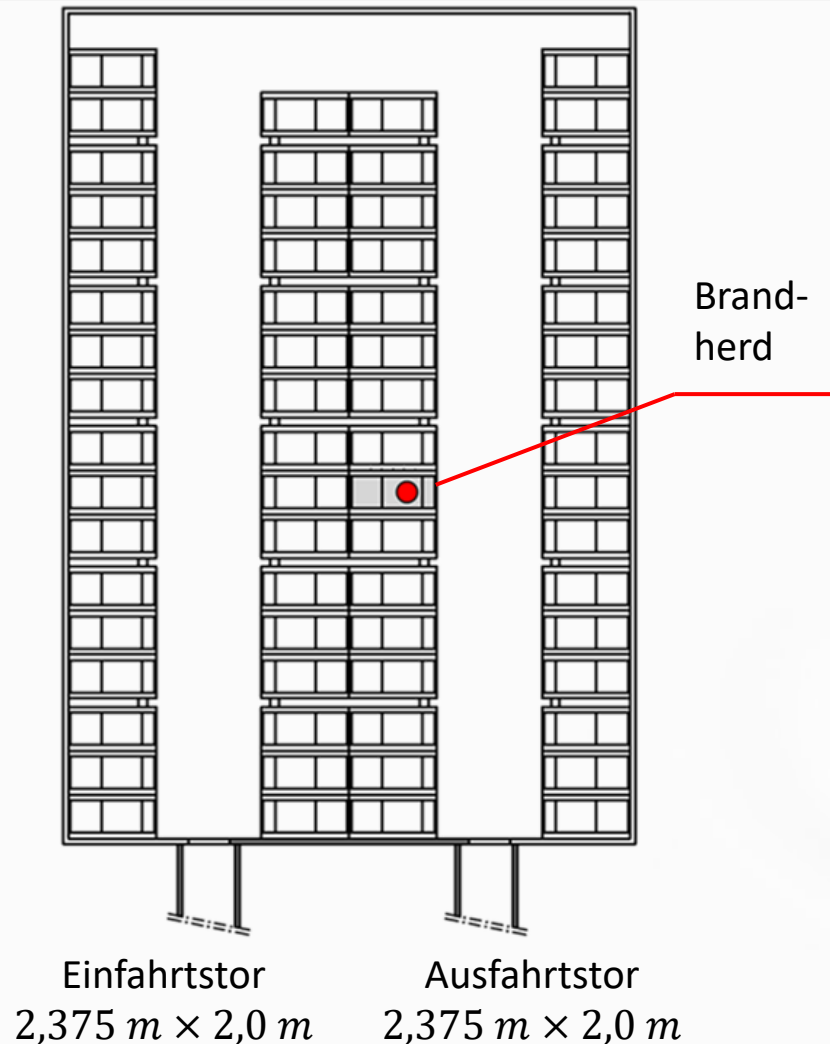
$$\dot{Q}_{AB} = \dot{m}_{AB} \cdot c_p \cdot (T_{AB} - T_{ZU})$$

- Abgeführter Verlustwärmestrom:

$$\dot{Q}_V = 0,3 \cdot \dot{Q}_K$$

$$\rightarrow T_{AB} = \frac{0,56 \cdot \dot{Q}}{\dot{m}_{AB} \cdot c_p} + T_{ZU}$$

Typische (einfache) Aufgabe



Randbedingungen

- Nutzfläche 1500 m^2 , 66 Stellplätze
- lichte Höhe $2,5\text{ m}$
- automatische Brandmeldung (RM)
- automatische Löschanlage
- Schutzziel: Unterstützung der Löscharbeiten

Die Temperatur der Rauchschiicht bzw. des abgeführten Rauchs:

$$T_{AB} = \frac{0,56 \cdot 700\text{ kW}}{5,7\text{ kg/s} \cdot 1,01\text{ kJ/(kg K)}} + 293\text{ K}$$

$$T_{AB} = 361\text{ K}$$

Für die Dichte des abgeführten Rauchs folgt:

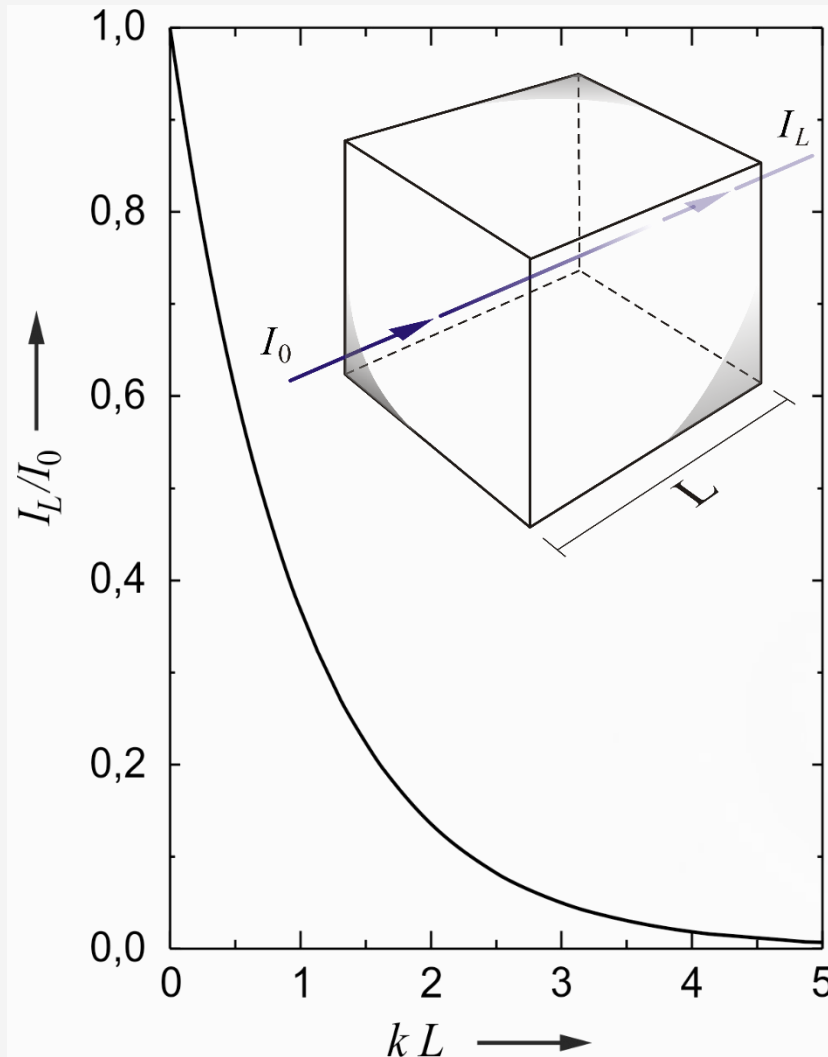
$$\rho_{AB} = \frac{353,2\text{ kg K/m}^3}{361\text{ K}} = 0,98\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Für den Entrauchungsvolumenstrom resultiert:

$$\dot{V}_{AB} = \frac{5,7\text{ kg/s}}{0,98\text{ kg/m}^3} = 5,8\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \approx 21.000\frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Entrauchung durch Verdünnung

Verdünnung – Lichtschwächung



Bouguer-Lambert-Beer-Gesetz:

$$\frac{I_L}{I_0} = e^{-k \cdot L}$$

Extinktionskoeffizient:

$$k = \sigma_S \cdot c_R$$

mit: $\sigma_S \approx 8,7 \text{ m}^2/\text{g}$

I_0 Intensität des in das Medium eintretenden Lichtstrahls in W/m^2 ,

I_L Intensität des Lichtstrahls in W/m^2 nach dem Strahlweg L ,

k Extinktionskoeffizient in m^{-1} ,

L Strahlweg in m ,

σ_S spezifischer Extinktionskoeffizient in m^2/g ,

c_R (Ruß-) Konzentration in g/m^3 .

Verdünnung – Modellvorstellung

Zusammenhang zwischen Extinktionskoeffizient und Sichtweite:

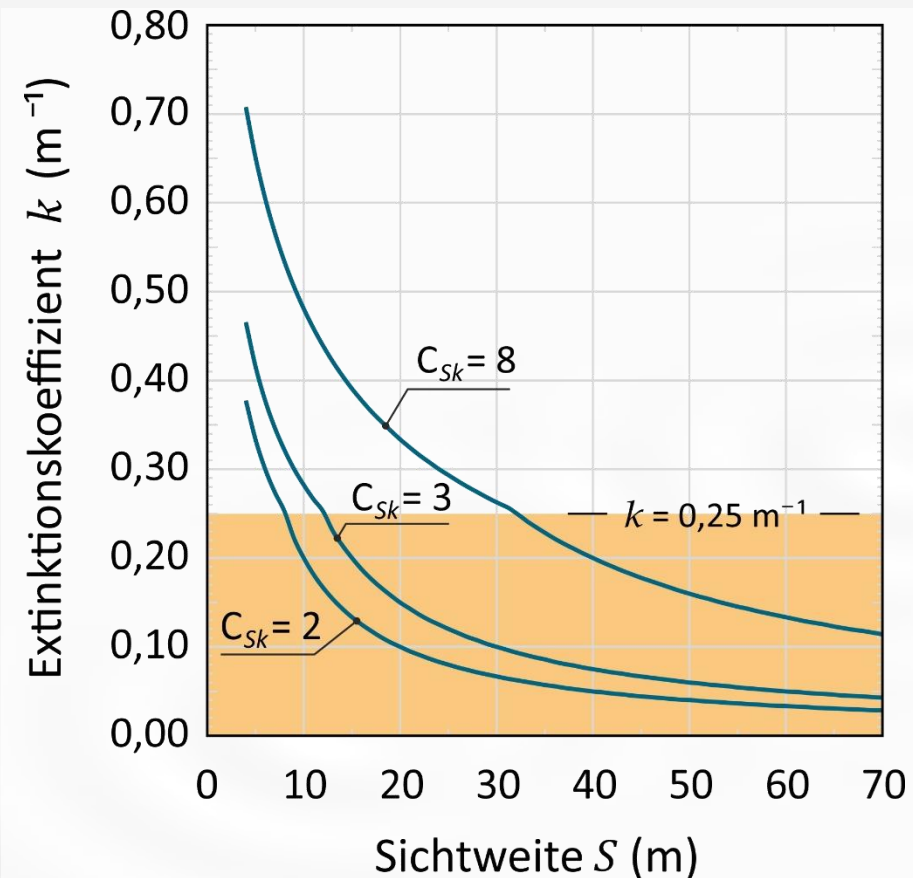
für $k \leq 0,25 \text{ m}^{-1}$

$$C_{Sk} = S \cdot k$$

für $k > 0,25 \text{ m}^{-1}$

$$C_{Sk} = S \cdot k \cdot \frac{1}{0,133 - 1,47 \log(k)}$$

Zu erkennendes Objekt	Erkennungsfaktor C_{Sk}
Wände, Stützen, etc.	≈ 2
reflektierende Rettungswegzeichen	2 ... 4
selbstleuchtende Rettungswegzeichen	5 ... 10



Quelle: Jin, T.: Visibility and Human Behavior in Fire Smoke, SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 3rd Edition, Section 2, Chapter 4, National Fire Protection Association, Quincy, MA, 2002

Verdünnung – Rußausbeute

Für den Extinktionskoeffizienten gilt:

$$k = \sigma_S \cdot c_R$$

mit:

$$c_R = \frac{m_{R,RA}}{V_{RA}}$$

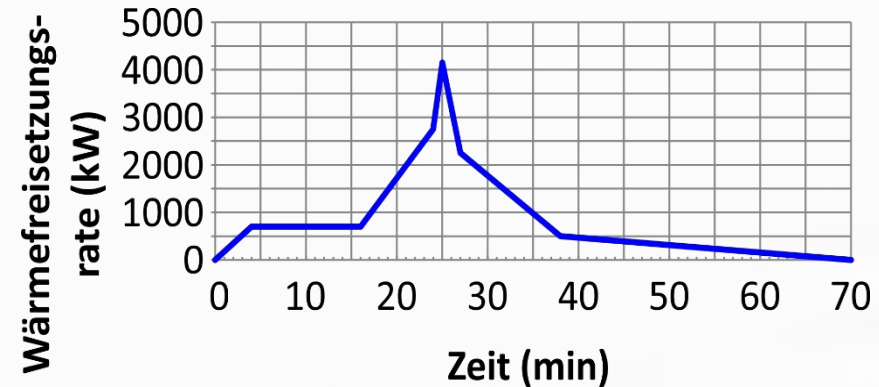
Der bei der Verbrennung entstehende Ruß ist proportional zur Wärmefreisetzungsrate:

$$\dot{m}_R = \psi_R \cdot \dot{Q}$$

mit

- \dot{m}_R Rußmassenstrom in g/s
- \dot{Q} Wärmefreisetzungsrate in kW
- $m_{R,RA}$ Rußmasse im Raum in g
- V_{RA} Raumvolumen in m^3
- ψ_R Rußausbeute in g/kJ

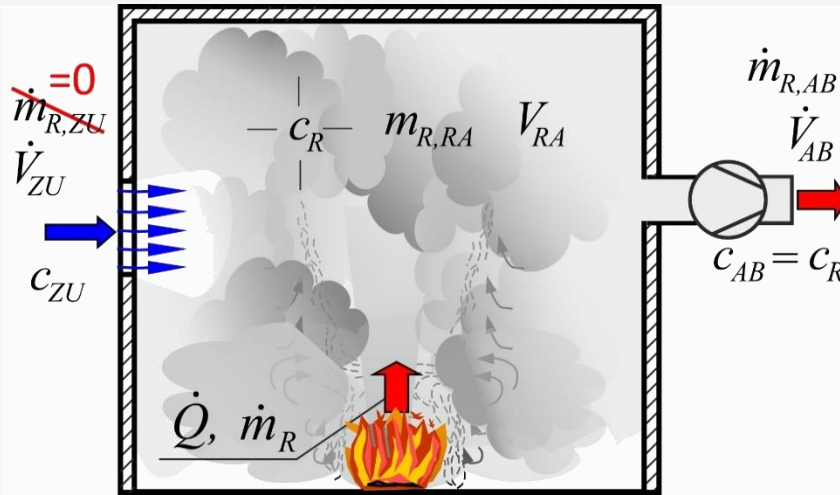
$$\text{Anhaltswert: } \psi_R \approx 5,3 \text{ mg/kJ}$$



Material (Brennstoff)	Rußausbeute ψ_R (g/kJ)
Holz	$1,2 \cdot 10^{-3}$
Polyurethan	$3,7 \cdot 10^{-3} \dots 8,5 \cdot 10^{-3}$
Mineralöl	$2,34 \cdot 10^{-3}$
Silikon-Gummi	$3,6 \cdot 10^{-3}$
PVC	$10,5 \cdot 10^{-3}$
PE	$1,38 \cdot 10^{-3}$

Quelle: Tewarson, A.: Generation of Heat and Chemical Compounds in Fires, SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 2nd Edition, Section 3, Chapter 4, National Fire Protection Association, Quincy, MA, 1995 (Auszug)

Verdünnung – Modellvorstellung



Einsetzen in die Massenbilanz liefert:

$$\frac{dk}{dt} = \frac{\psi_R}{V_{RA}} \cdot \sigma_S \cdot (a \cdot (t - t_0) + \dot{Q}_0) - \frac{\dot{V}_{AB}}{V_{RA}} \cdot k$$

Lösung dieser DGL für $t > t_{Melde}$:

$$\frac{V_{RA} \cdot k}{\psi_R} = C \cdot e^{-n \cdot t} + \sigma_S \left[\frac{a}{n} (t - t_0) - \frac{a}{n^2} + \frac{\dot{Q}_0}{n} \right]$$

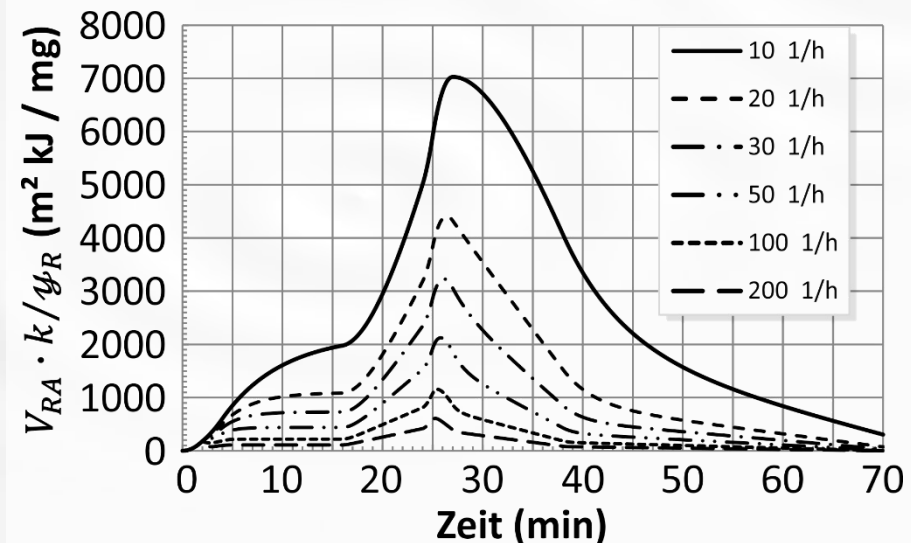
(Ruß-) Massenbilanz für den Raum:

$$\frac{dm_{R,RA}}{dt} = \dot{m}_R + \dot{m}_{R,ZU} - \dot{m}_{R,AB}$$

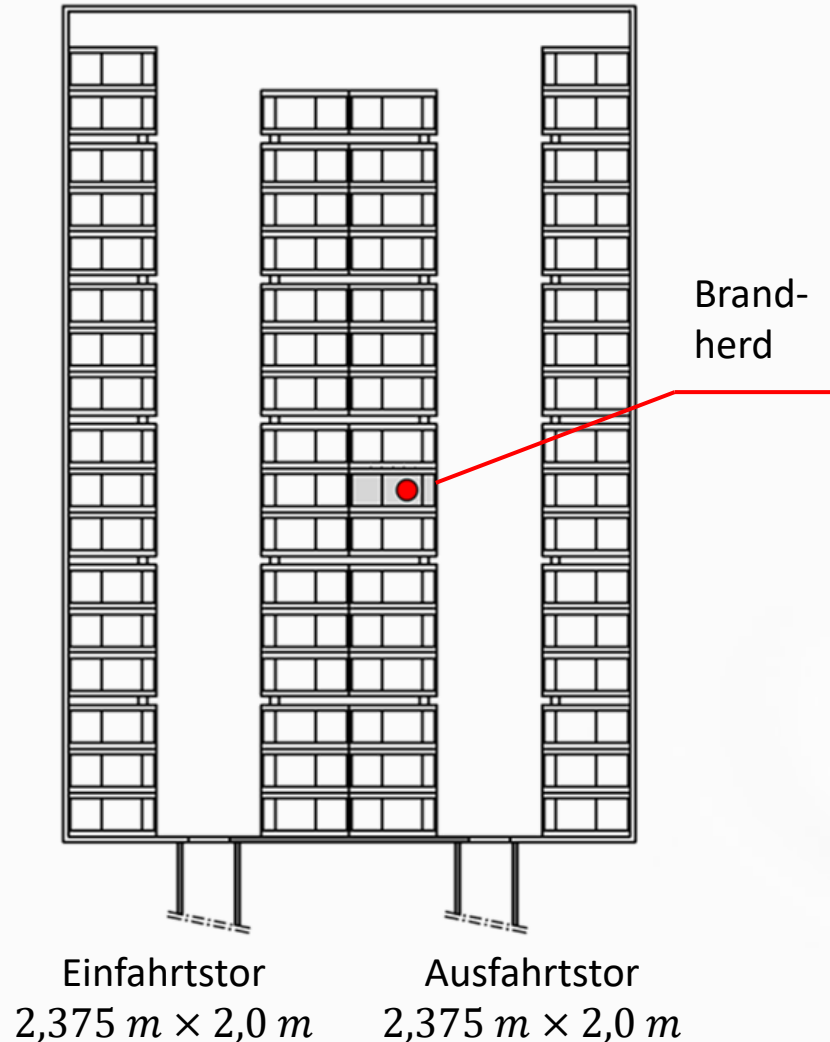
mit: $c_R = \frac{m_{R,RA}}{V_{RA}}$, $c_{R,AB} = \frac{\dot{m}_{R,AB}}{\dot{V}_{AB}}$,

$$c_R = \frac{k}{\sigma_S} \quad , \quad c_{R,AB} = c_R$$

$$\dot{m}_R = \psi_R \cdot \dot{Q} \quad \dot{Q} = a \cdot (t - t_0) + \dot{Q}_0$$



Typische (einfache) Aufgabe

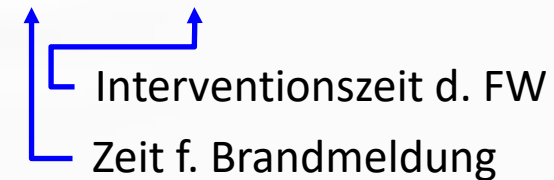


Randbedingungen

- Nutzfläche 1500 m^2 , 66 Stellplätze
- lichte Höhe $2,5\text{ m} \rightarrow V_{RA} = 3.750\text{ m}^3$
- automatische Brandmeldung (RM)
- automatische Löschanlage
- kein Brandüberschlag zu erwarten, ein brennendes Fahrzeug (Fall 1, gesprinklert)
- Schutzziel: Unterstützung der Löscharbeiten

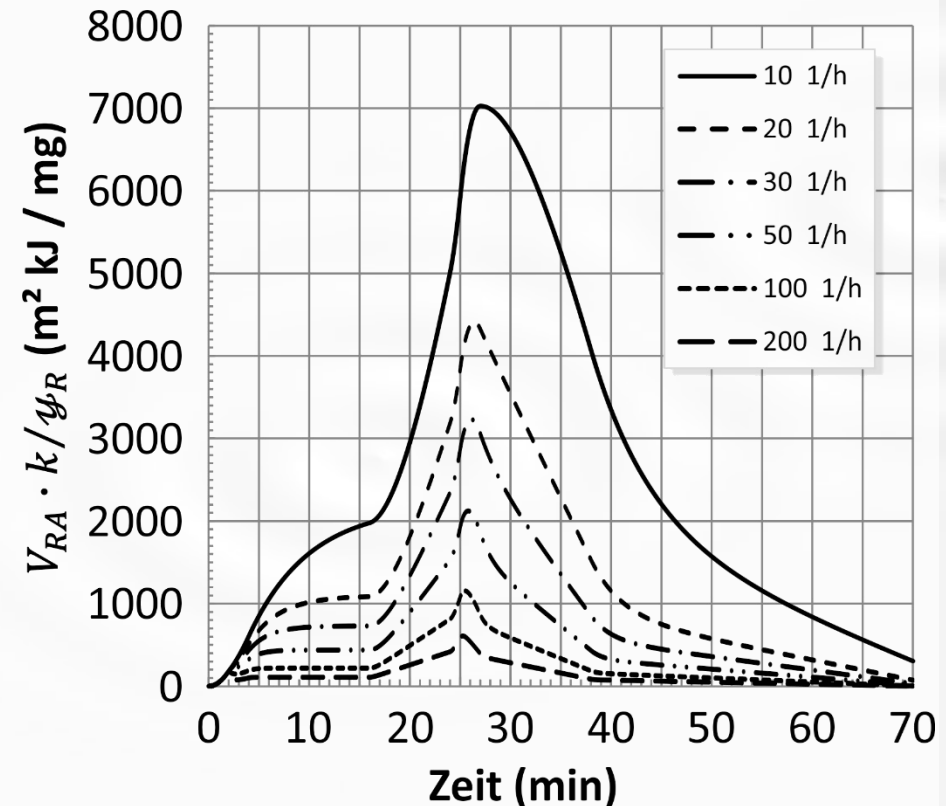
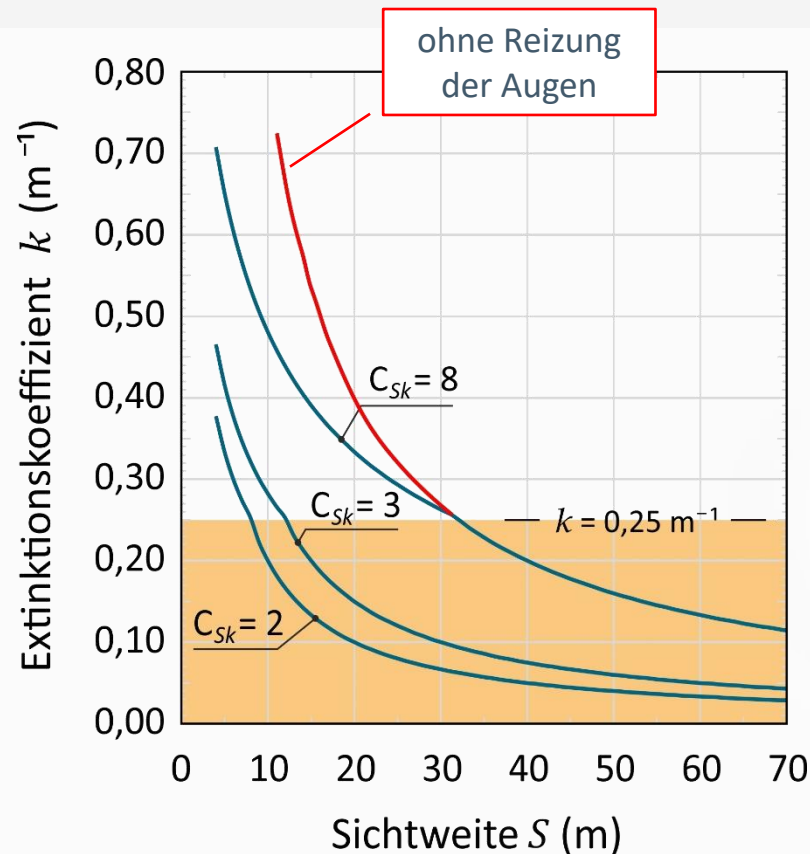
→ Zeitpunkt, zu dem die Löscharbeiten eingeleitet werden:

$$t_{E,FW} = 120\text{ s} + 780\text{ s} = 900\text{ s}$$

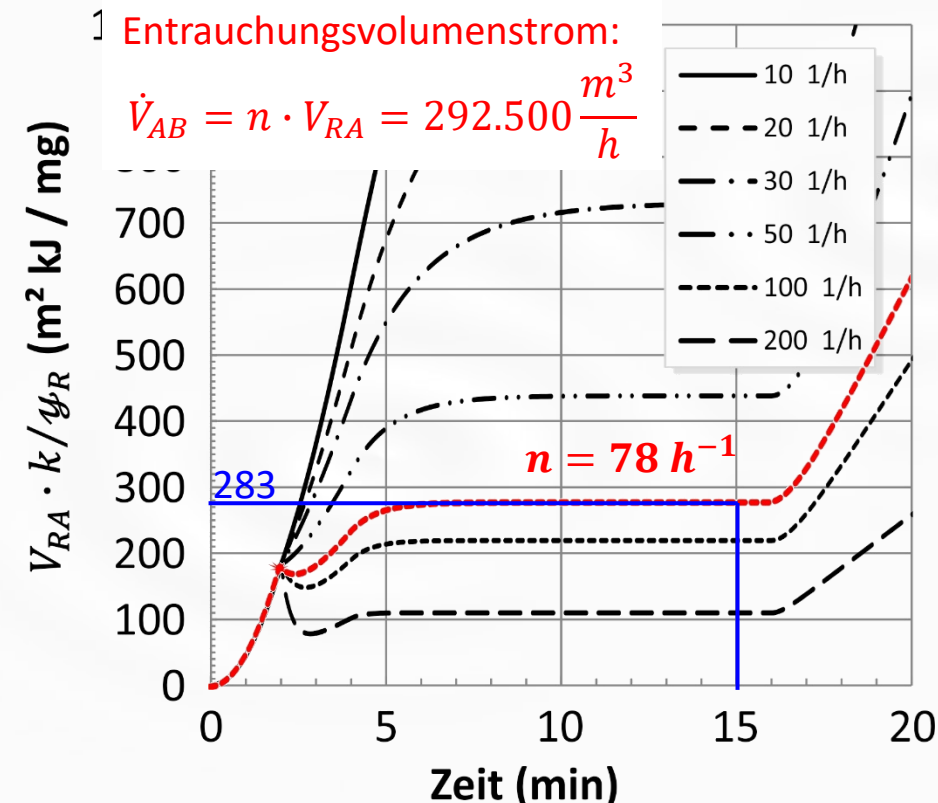
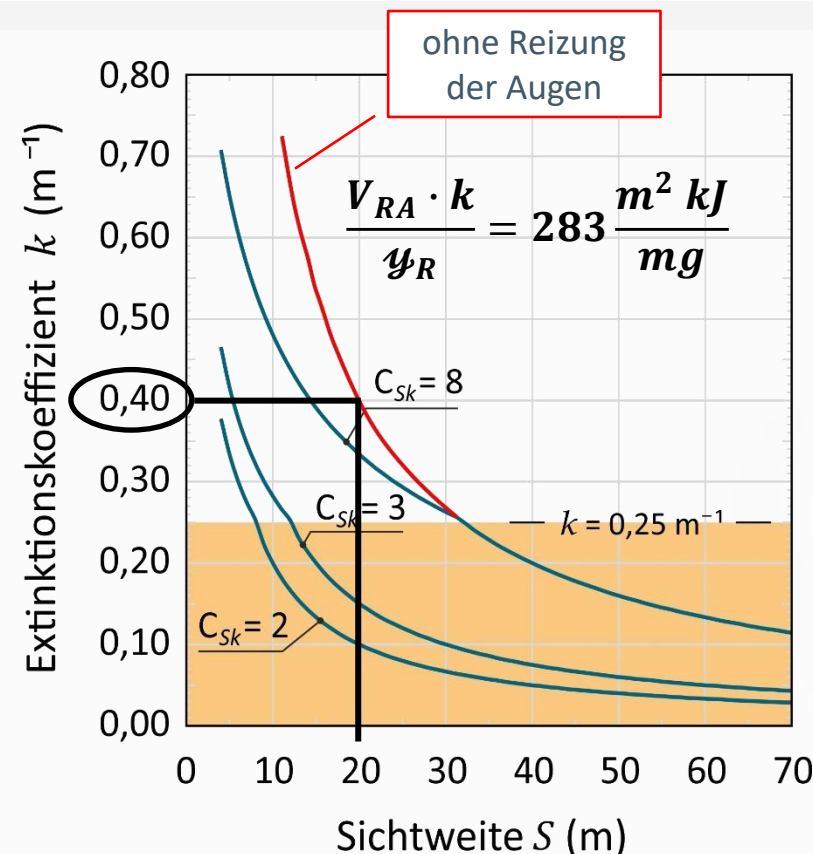


Typische (einfache) Aufgabe

In Abstimmung mit der Feuerwehr wird eine **Sichtweite** (Erkennen offener Flammen) von **20 m** festgelegt, wobei davon ausgegangen werden darf, dass wegen des Tragens der persönlichen Schutzausrüstung (PSA) eine **Augenreizung** durch Rauch **nicht auftritt**.



In Abstimmung mit der Feuerwehr wird eine **Sichtweite** (Erkennen offener Flammen) von **20 m** festgelegt, wobei davon ausgegangen werden darf, dass wegen des Tragens der persönlichen Schutzausrüstung (PSA) eine **Augenreizung** durch Rauch **nicht auftritt**.



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!