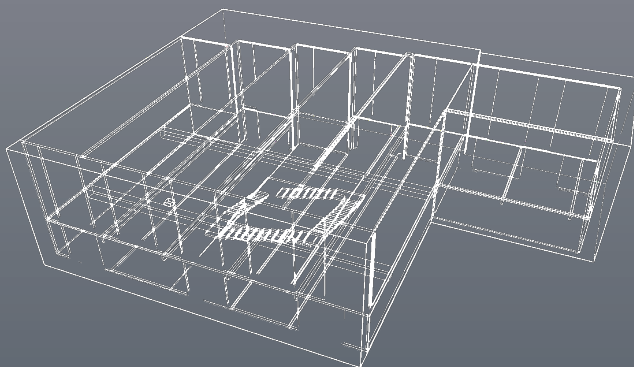


## 8. ANWENDERTREFFEN DER FDS USERGROUP

### **TAGUNGSBAND** ZUSAMMENSTELLUNG DER KURZREFERATE

Datum:  
06.-07.11.2014

Ort:  
hhpberlin  
Rotherstraße 19  
10245 Berlin





**INHALT****Vorträge 06.11.2014:**

Berechnung des konvektiven Wärmeverlustes in FDS5 und FDS6-ein Fehler? Dr. Andreas Vischer	2
Das Wärmestrahlungsmodell in FDSt Dr. Matthias Münch	16
pyFDSEvac - Make It Simple Gregor Jäger	25
Performance Analysis and Shared Memory Parallelisation of FDS Dr. Lukas Arnold	39
Erfahrungen mit der FDS 6.1.2 OpenMP Version im Vergleich zur MPI Version für den »SP Retail Case 2« Prof. Bjarne Husted	52
FDS6 - Laufzeiten und Benchmarking Dr. Susanne Kilian	63

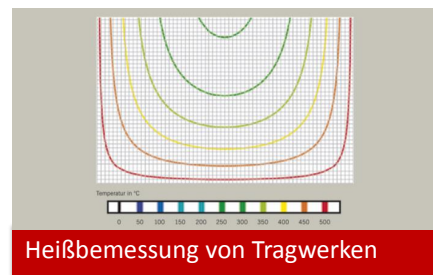
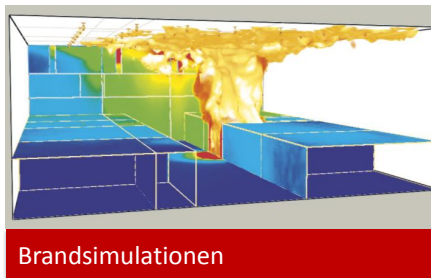
**Vorträge 07.11.2014:**

Integration und Anwendung eines 3D-Wärmeleitungsmodells in FDS6 Matthias Siemon	86
Einfluss der Pyrolyseparameter auf die Brandsimulation Corinna Trettin	104
Sensitivitätsanalysen mittels CFD Simulationen von U-Bahnstationen unter Berücksichtigung unterirdischer Klimamodelle Dr. Lukas Arnold	115
Untersuchungen zur Personensicherheit in rauchbelasteten Rettungswegen - Anwendung der CFD Software FDS zur Quantifizierung der Personensicherheit in horizontalen Rettungs- wegen Markus Wiezorek	129
Sensitivitätsuntersuchungen mit FDS-EVAC auf Basis von Latin-Hypercube-Sampling Prof. Dr. Kathrin Grewolls	141
Parameterstudie zur Berücksichtigung von Menschen mit Behinderungen in Evakuierungs- simulationen Prof. Dr. Kathrin Grewolls	158

Dr. Andreas Vischer:

Berechnung des konvektiven Wärmeverlustes in FDS5 und FDS6 - ein Fehler?

### 8. Anwender-Treffen der FDS Usergroup





## 8. Anwender-Treffen der FDS Usergroup

---

# Berechnung des konvektiven Wärmeverlustes in FDS5 und FDS6 – ein Fehler?

## Energiebilanzen in FDS 5 und FDS 6

Dr.-Ing. Andreas Vischer  
Sachverständiger für Brandschutz  
und Ingenieurmethoden

■ 8. Anwender-Treffen der FDS Usergroup

## Inhalt

---

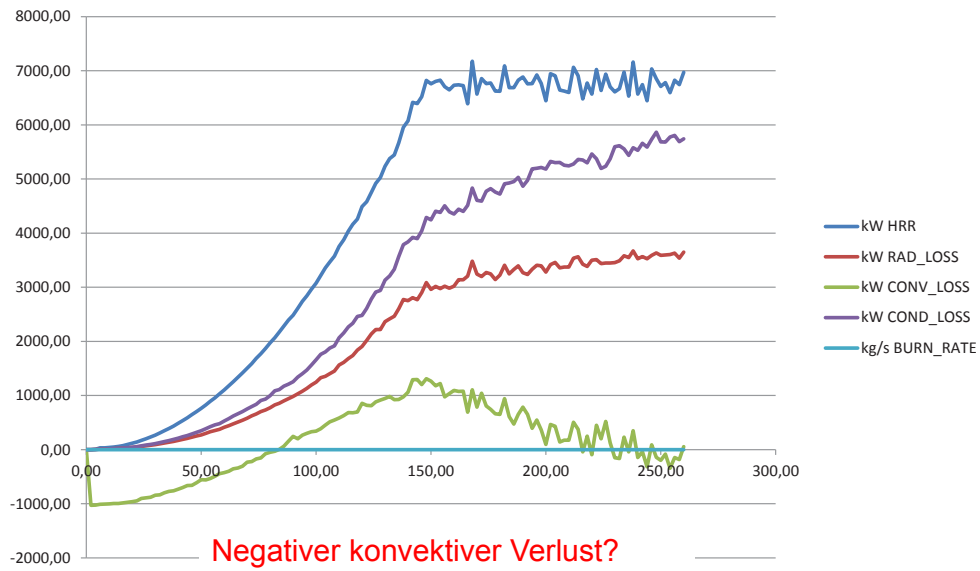
1. Einleitung
2. Problemstellung
3. Energieberechnung in FDS 5
4. Lösung in FDS 6?
5. Untersuchungen mit FDS 6
6. Fazit

8. Anwender-Treffen der FDS Usergroup

WIJNVELD // INGENIEURE

INGENIEURE FÜR BRANDSCHUTZ  
UND INGENIEURMETHODEN

### 1. Einleitung



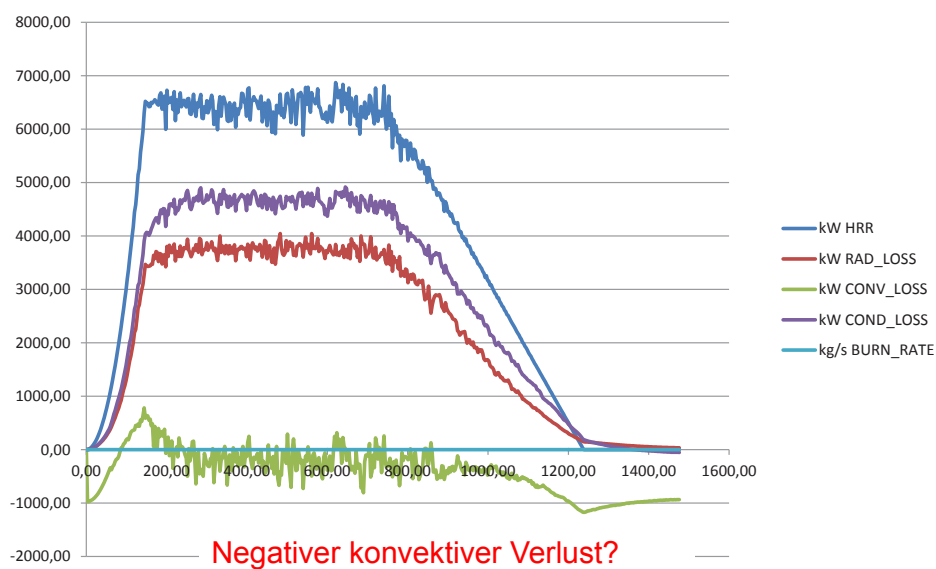
Wijnveld // Ingenieure, Ingenieure für Brandschutz und Ingenieurmethoden, Mercatorstraße 13, 49080 Osnabrück, [www.wijnveld-ingenieure.de](http://www.wijnveld-ingenieure.de)

8. Anwender-Treffen der FDS Usergroup

WIJNVELD // INGENIEURE

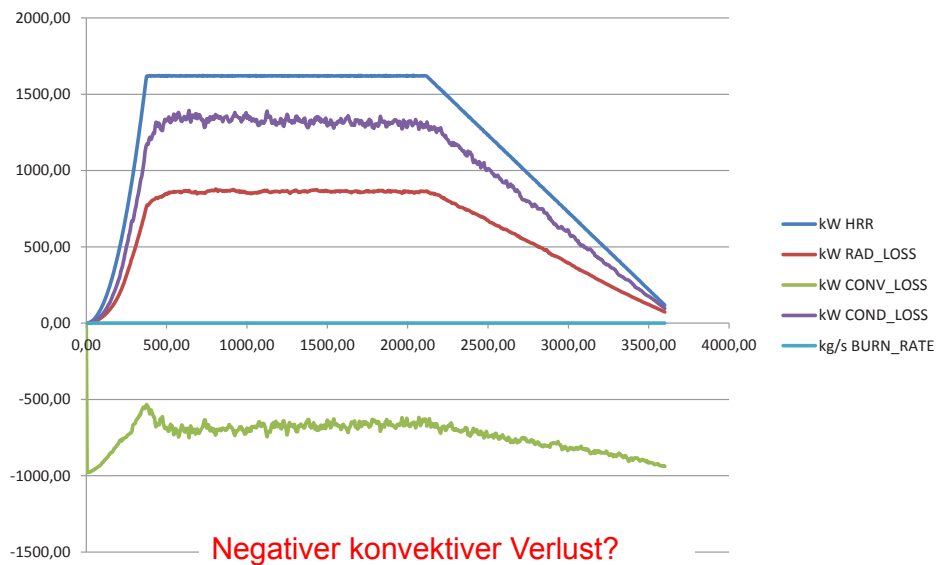
INGENIEURE FÜR BRANDSCHUTZ  
UND INGENIEURMETHODEN

### 1. Einleitung



Wijnveld // Ingenieure, Ingenieure für Brandschutz und Ingenieurmethoden, Mercatorstraße 13, 49080 Osnabrück, [www.wijnveld-ingenieure.de](http://www.wijnveld-ingenieure.de)

## 1. Einleitung



Wijnveld // Ingenieure, Ingenieure für Brandschutz und Ingenieurmethoden, Mercatorstraße 13, 49080 Osnabrück, [www.wijnveld-ingenieure.de](http://www.wijnveld-ingenieure.de)

## 1. Einleitung

Auszüge aus dem Issue-Tracker:

### Issue 519: HRR and CONV\_LOSS not matching (SVN Revision Number: 2087)

- I'm trying to simulate a fire of 12kW inside an **adiabatic** tunnel. **I turn off radiation** and set **RADIATIVE\_FRACTION=0** at the end of the simulation, when I look to output file hrr, it is show that HRR is about 12 kW while CONV\_LOSS trough open boundaries is only 10.5 kW
- This **two quantities (HRR and CONV\_LOSS) should be the same**, but instead there is **a difference of about 1.5 kW**. Why?

### Issue 1022: hrr.csv energy balance (FDS 5.4.3 32bit; SVN Revision Number: 5210)

- I have a question concerning the **hrr.csv output file**.  $CONV\_LOSS + COND\_LOSS = HRR$
- I am doing this with a quite simple test case (**adiabatic surfaces**).
- Even though there are only adiabatic surfaces, there is a significant amount of cond\_losses.
- Conv\_losses itself already is slightly higher than hrr.
- The sum of **cond and conv losses is  $\sim 100 \text{ kW} > \text{hrr}$** .
- Right now I don't know what I am getting wrong here... Thanks for your help. Boris

Wijnveld // Ingenieure, Ingenieure für Brandschutz und Ingenieurmethoden, Mercatorstraße 13, 49080 Osnabrück, [www.wijnveld-ingenieure.de](http://www.wijnveld-ingenieure.de)

- 8. Anwender-Treffen der FDS Usergroup

## 2. Problemstellung

→ Das ist ja merkwürdig?!

Daraus resultieren 2 wesentliche Fragestellungen:

- Warum werden negative konvektive Wärmeverluste berechnet?
- Ist das Gleichgewicht bei der Berechnung zwischen Energiegewinnen und Energieverlusten in FDS eingehalten?

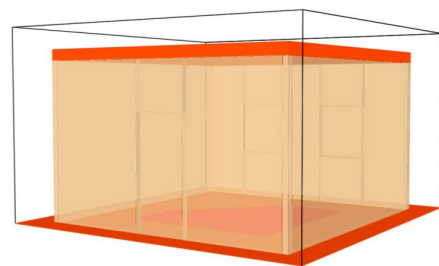
Weitere Fragestellungen:

- Ist die Berechnung negativer Wärmeverluste abhängig von Benutzereingaben?
- Werden die Strahlungsverluste des Brandes richtig berechnet?
- Wird die vorgegebene Energiefreisetzungsrate korrekt berechnet?

- 8. Anwender-Treffen der FDS Usergroup

## 2. Problemstellung – Variationsrechnungen FDS5 Testraum

- Netz 6,0m x 6,0m x 3,6m, 10cm Zellgröße
- Netzgrenzen = 'open'
- Wände 10cm dick, jeweils bei 0,5m und 5,5m
- Tür 2,0m<sup>2</sup> in der Mitte einer Wand
- 2 Fenster à 1,0m<sup>2</sup> gegenüber der Tür
- Raumhöhe 3,20m
- Brandquelle:
  - Brandfläche 3,0m x 3,0m in der Mitte
  - HRRPUA=500 kW konstant (→4,5 MW)
  - SOOT\_YIELD=0.0, CO\_YIELD=0.0

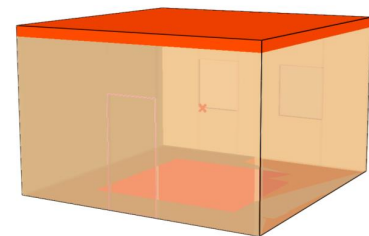
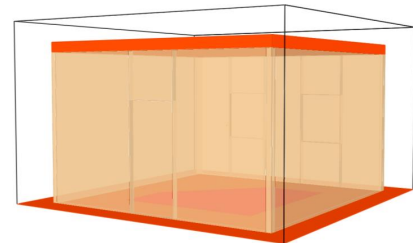


8. Anwender-Treffen der FDS Usergroup

2. Problemstellung – Variationsrechnungen FDS 5

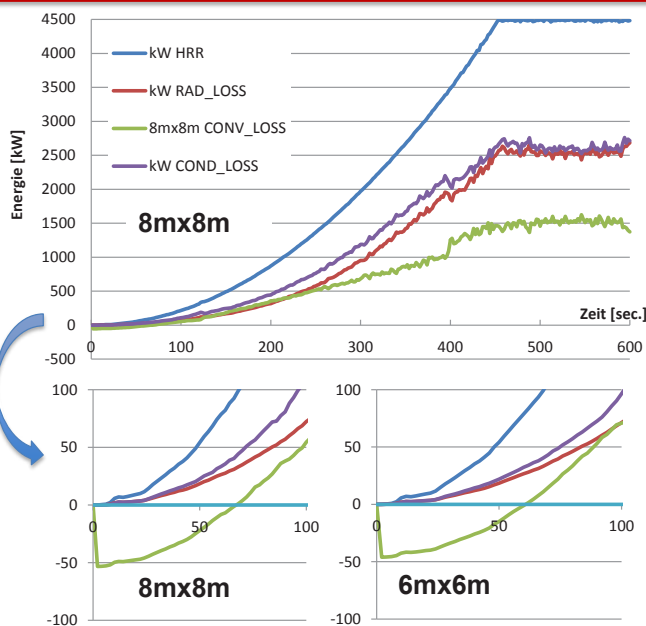
Variantenberechnungen

- gleiche HRR bei allen Varianten
- Verschiebung der Netzaußengrenzen  
Netzgröße 5mx5m (Netzgrenze=Öffnung)
- Vergrößerung des Rechengebietes auf 8mx8m
- Variation Zeitpunkte Öffnung der Fenster/Türen
- Verdopplung/Vervierfachung der Öffnungsfläche
- RADIATION=.TRUE./FALSE.



8. Anwender-Treffen der FDS Usergroup

2. Problemstellung Beispiel: Vergrößerung des Netzes



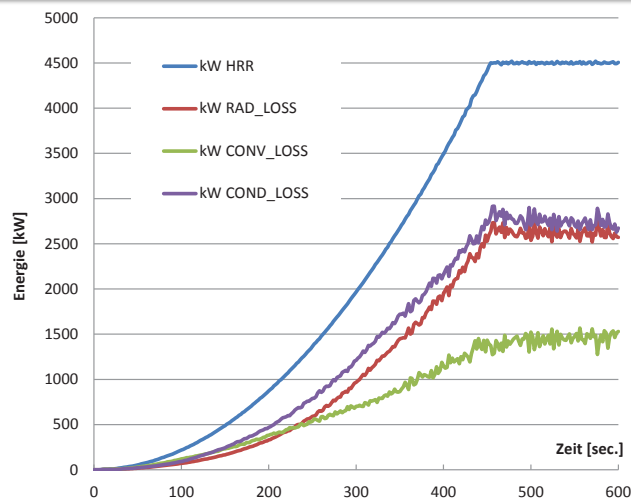
s	8m x 8m	6m x 6m	Differenz	Verhältnis
FDS_HRR Time	CONV_LOSS	CONV_LOSS	8m - 6m	8m : 6m
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,03	-53,26	-46,09	-7,16	1,15537708
4,07	-53,10	-45,94	-7,16	1,15582893
6,01	-52,80	-45,64	-7,16	1,15693073
8,04	-51,90	-44,70	-7,20	1,16104504
10,08	-49,68	-42,60	-7,09	1,16633302
12,02	-48,96	-41,76	-7,20	1,17251714
14,05	-49,04	-41,89	-7,15	1,17069761
16,09	-48,61	-41,47	-7,14	1,17209155
18,03	-48,08	-40,93	-7,15	1,17467819
20,06	-47,52	-40,35	-7,17	1,17755981
22,07	-47,00	-39,89	-7,11	1,1783108
24,03	-45,97	-38,82	-7,16	1,18436984
26,04	-44,34	-37,14	-7,20	1,19384349
28,06	-42,55	-35,35	-7,21	1,2038963
30,05	-41,06	-33,86	-7,20	1,21275631
32,05	-39,54	-32,32	-7,22	1,22343999
34,01	-38,05	-30,71	-7,34	1,23917033
36,04	-36,40	-29,18	-7,23	1,24777629
38,04	-34,87	-27,61	-7,27	1,26327008
40,05	-32,99	-25,85	-7,14	1,27622591
42,03	-31,57	-24,42	-7,16	1,29304439
44,04	-29,92	-22,79	-7,14	1,31321946
46,04	-27,52	-20,64	-6,88	1,33357741
48,04	-24,84	-17,47	-7,38	1,42252138
50,03	-21,95	-15,02	-6,93	1,46147453
52,02	-19,30	-12,06	-7,24	1,60058538
54,01	-16,54	-9,09	-7,45	1,82007295
56,03	-13,49	-6,22	-7,27	
58,02	-10,83	-3,57	-7,26	
60,02	-8,24	-1,13	-7,11	
62,01	-6,88	1,60	-8,48	
64,00	-4,01	4,53	-8,54	
66,00	-1,26	7,61	-8,88	
68,00	1,15	10,76	-9,62	

## ■ 8. Anwender-Treffen der FDS Usergroup

WIJNVELD // INGENIEURE

INGENIEURE FÜR BRANDSCHUTZ  
UND INGENIEURMETHODEN

## 2. Problemstellung Beispiel: Netzgrenze = Öffnung



- kein negativer konvektiver Wärmeverlust!
- aber ebenfalls kein Gleichgewicht!

s	kW	kW	kW	Gleichgewicht
FDS_				
HRR_Time	HRR	CONV_	COND_	HRR
		LOSS	LOSS	-Qconv-Qcond
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,03	0,05	0,03	0,01	0,01
4,07	0,28	0,18	0,07	0,03
6,01	0,75	0,48	0,20	0,07
8,04	2,17	1,38	0,57	0,22
10,08	5,59	3,52	1,64	0,43
12,02	6,96	4,35	2,57	0,04
14,05	6,76	4,29	2,50	-0,03
16,09	7,31	4,68	2,55	0,08
18,03	8,19	5,22	2,87	0,10
20,06	9,07	5,77	3,20	0,10

580,01	4491,45	1490,12	2703,63	297,69
582,01	4495,22	1415,79	2768,80	310,64
584,00	4510,51	1539,24	2685,32	285,95
586,00	4499,14	1514,33	2691,12	293,68
588,00	4497,66	1344,27	2830,60	322,79
590,01	4497,32	1467,50	2735,21	294,61
592,00	4507,26	1517,59	2676,33	313,33
594,00	4512,28	1537,08	2661,74	313,46
596,00	4492,87	1463,44	2717,75	311,68
598,00	4493,45	1515,52	2629,91	348,01
600,01	4505,19	1528,99	2673,48	302,72

Wijnveld // Ingenieure, Ingenieure für Brandschutz und Ingenieurmethoden, Mercatorstraße 13, 49080 Osnabrück, www.wijnveld-ingenieure.de

## ■ 8. Anwender-Treffen der FDS Usergroup

WIJNVELD // INGENIEURE

INGENIEURE FÜR BRANDSCHUTZ  
UND INGENIEURMETHODEN

## 2. Problemstellung – Ergebnisse Variationsrechnungen FDS 5

- Kein negativer konvektiver Verlust, wenn Netzgrenze=Öffnung
- Keine Änderung der negativen Verluste bei Änderung der Öffnungszeitpunkte der Türen und Fenster
- Vergrößerung des Minimalwertes (negativer Verlust) bei Vergrößerung des Netzes (ca. 15% 8mx8m im Vergleich zu 6mx6m)
- Vergrößerung der absoluten negativen Verluste bei Vergrößerung des Netzes
- Keine Erhöhung des negativen Verlustes bei Verdopplung/Vervierfachung der Öffnungsfläche
- Berechnung der Strahlungsenergie nachvollziehbar bei RADIATION=.FALSE.

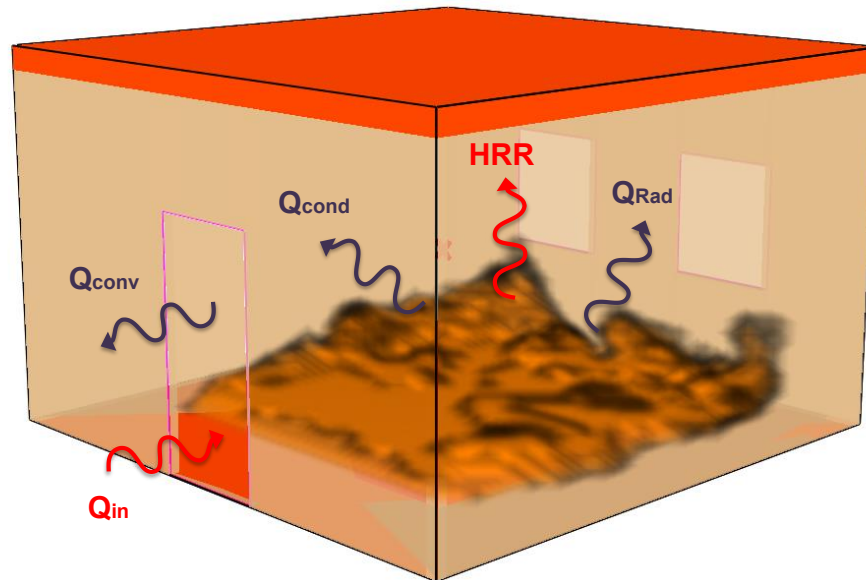
Wijnveld // Ingenieure, Ingenieure für Brandschutz und Ingenieurmethoden, Mercatorstraße 13, 49080 Osnabrück, www.wijnveld-ingenieure.de

- 8. Anwender-Treffen der FDS Usergroup

WIJNVELD // INGENIEURE

INGENIEURE FÜR BRANDSCHUTZ  
UND INGENIEURMETHODEN

### 3. Energieberechnung in FDS



Wijnveld // Ingenieure, Ingenieure für Brandschutz und Ingenieurmethoden, Mercatorstraße 13, 49080 Osnabrück, [www.wijnveld-ingenieure.de](http://www.wijnveld-ingenieure.de)

- 8. Anwender-Treffen der FDS Usergroup

WIJNVELD // INGENIEURE

INGENIEURE FÜR BRANDSCHUTZ  
UND INGENIEURMETHODEN

### 3. Energieberechnung in FDS

- Energiegewinne:**

HRR: Wärmeenergie aus Definition  
Energiefreisetzungsrate

$Q_{in}$ : einströmende Wärmeenergie über Netzgrenzen

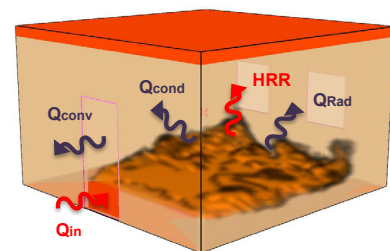
- Energieverluste:**

$Q_{rad}$ : Wärmestrahlung des Brandes (auf Oberflächen, in den Raum, nach außen)

$Q_{conv}$ : Wärmekonvektion (in den Raum, auf Partikel, nach außen)

- Energieübertragung durch Strömung (Bewegung von Stoffteilchen)
- ausströmende Wärmeenergie über Netzgrenzen

$Q_{cond}$ : Wärmeverlust auf Bauteiloberflächen bzw. Partikel  
durch Wärmekonvektion und -strahlung



Wijnveld // Ingenieure, Ingenieure für Brandschutz und Ingenieurmethoden, Mercatorstraße 13, 49080 Osnabrück, [www.wijnveld-ingenieure.de](http://www.wijnveld-ingenieure.de)

### 3. Energieberechnung in FDS – Ausgabe in FDS 5

The total heat release rate is given by

$$\dot{Q} = \int_{\Omega} \dot{q}''' dV \tag{14.1}$$

The radiative loss to the boundaries can be computed with either a volume or boundary integral

$$\dot{Q}_r = \int_{\Omega} \nabla \cdot \mathbf{q}_r dV = \int_{\partial\Omega} \mathbf{q}_r \cdot d\mathbf{S} = \int_{\partial\Omega} \dot{q}_r'' dA \tag{14.2}$$

It represents the energy radiating away from the fire and hot gases into the solid boundaries or out of the computational domain. The convective/radiative loss to open boundaries is

$$\dot{Q}_{conv} = \int_{\partial\Omega} c_p \rho (T - T_{\infty}) \mathbf{u} \cdot d\mathbf{S} + \int_{\partial\Omega_2} \dot{q}_r'' dA \tag{14.3}$$

where the integral is positive if the flow and radiative flux are going out of the domain. The conductive loss to solid surfaces is given by

$$\dot{Q}_{cond} = \int_{\partial\Omega_1} \dot{q}_r'' + \dot{q}_c'' dA \tag{14.4}$$

where the integral is positive if heat is being lost into a wall colder than the gas.

For scenarios in which the fire is the primary source of energy, after the gas temperatures within the computational domain reach a nearly steady state

$$\dot{Q} \approx \dot{Q}_{conv} + \dot{Q}_{cond} \tag{14.5}$$

This is merely a check of the global energy balance, that is, the energy generated within the space heats up the gases and solid surfaces, and then a balance between heat input and output is achieved.

Energiebilanz in FDS 5? → Gleichgewichtsprüfung (nur wenn Temperaturen etwa konstant!?)

### 3. Energieberechnung in FDS – Ausgabe in FDS 5

s	kW	kW	kW	kW	kg/s	kW	kW	kW	Gleichgewicht?
FDS_	HRR	RAD_LOSS	CONV_LOSS	COND_LOSS	BURN_RATE	HRR=	RAD_LOSS=	Differenz	HRR
HRR_Time	HRR	LOSS	LOSS	LOSS	RATE	BURN_RATE x HOC	0,35xHRR	RAD_LOSS - CONV-COND	
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0,00
2,08	0,05	0,02	-46,09	0,01	0,00	0,56	0,02	0,00	46,14
4,00	0,28	0,10	-45,95	0,06	0,00	1,53	0,10	0,00	46,17
6,08	0,76	0,26	-45,64	0,19	0,00	2,49	0,26	0,00	46,21
8,08	2,23	0,78	-44,71	0,55	0,00	3,48	0,78	0,00	46,40
10,00	5,55	1,94	-42,63	1,51	0,00	4,43	1,94	0,00	46,67
12,00	6,95	2,43	-41,78	2,34	0,00	5,37	2,43	0,00	46,39
14,00	6,80	2,35	-41,82	2,30	0,00	6,34	2,38	0,03	46,32
16,00	7,22	2,49	-41,51	2,31	0,00	7,3	2,53	0,04	46,41
18,00	8,13	2,81	-40,94	2,61	0,00	8,27	2,85	0,04	46,47
20,08	9,10	3,15	-40,34	2,94	0,00	9,25	3,19	0,03	46,50
580,01	4510,75	1693,90	2387,57	1740,09	0,15	4500	1578,76	-115,14	383,09
582,01	4499,10	1782,39	2310,73	1778,30	0,15	4500	1574,69	-207,71	410,08
584,01	4512,40	1669,57	2438,12	1683,57	0,15	4500	1579,34	-90,22	390,71
586,01	4502,00	1740,12	2339,79	1744,97	0,15	4500	1575,70	-164,42	417,23
588,01	4511,63	1762,50	2338,11	1773,38	0,15	4500	1579,07	-183,43	400,14
590,01	4496,59	1716,91	2357,90	1728,79	0,15	4500	1573,81	-143,10	409,91
592,01	4498,48	1754,33	2328,38	1754,40	0,15	4500	1574,47	-179,86	415,70
594,01	4501,28	1742,82	2380,68	1744,71	0,15	4500	1575,45	-167,37	375,89
596,01	4520,05	1695,57	2421,54	1692,43	0,15	4500	1582,02	-113,55	406,08
598,00	4494,64	1722,92	2349,40	1710,65	0,15	4500	1573,13	-149,79	434,60
600,00	4505,55	1777,25	2339,37	1754,42	0,15	4500	1576,94	-200,31	411,76

Ausgabe Energie(bilanz) hrr.csv in FDS5

→ Nachvollziehbare Einzelwerte?

→ Gleichgewicht?

→ Nein!



8. Anwender-Treffen der FDS Usergroup

3. Energieberechnung in FDS – Ausgabe in FDS 5

s	kW	kW	kW	kW	kg/s	kW	kW	kW	Gleichgewicht?
FD S_	HRR	RAD_LOSS	CONV_LOSS	COND_LOSS	BURN_RATE	HRR=	RAD_LOSS=	HRR	
HRR Time	HRR					BURN RATE x HOC	0,35xHRR	Diff.	HRR
								RAD_LOSS	-CONV-COND
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0	0,00	0,00
2,00	2443,60	855,26	1516,52	38,82	0,16	3203,17	855,26	0,00	888,26
4,00	3947,12	1381,49	2243,66	178,67	0,22	4461,02	1381,49	0,00	1524,78
6,00	4075,95	1426,58	2287,76	268,29	0,22	4499,28	1426,58	0,00	1519,90
8,00	4046,66	1416,33	2227,66	256,79	0,22	4499,99	1416,33	0,00	1562,21
10,00	4078,23	1427,38	2072,54	353,07	0,22	4500	1427,38	0,00	1652,62
12,00	4151,23	1452,93	1961,49	455,33	0,23	4500	1452,93	0,00	1734,41
14,01	4118,33	1441,42	1746,83	586,81	0,23	4500	1441,42	0,00	1784,70
16,01	4191,96	1467,19	1635,02	702,99	0,23	4500	1467,19	0,00	1853,96
18,00	4175,17	1461,31	1499,87	796,69	0,23	4500	1461,31	0,00	1878,61
20,00	4177,22	1462,03	1326,66	954,14	0,23	4500	1462,03	0,00	1896,42
580,00	4486,07	1570,13	1862,66	877,49	0,23	4500	1570,13	0,00	1745,92
582,00	4491,52	1572,03	1838,86	874,23	0,23	4500	1572,03	0,00	1778,43
584,01	4505,23	1576,83	1861,95	889,11	0,23	4500	1576,83	0,00	1754,17
586,00	4483,81	1569,33	1875,19	891,61	0,23	4500	1569,33	0,00	1717,01
588,01	4485,78	1570,02	1899,14	853,76	0,23	4500	1570,02	0,00	1732,88
590,00	4497,78	1574,22	1861,01	897,30	0,23	4500	1574,22	0,00	1739,47
592,00	4500,82	1575,29	1857,10	901,97	0,23	4500	1575,29	0,00	1741,76
594,00	4485,00	1569,75	1902,23	864,11	0,23	4500	1569,75	0,00	1718,66
596,00	4477,82	1567,24	1870,73	877,49	0,23	4500	1567,24	0,00	1729,60
598,00	4502,41	1575,84	1918,04	836,99	0,23	4500	1575,84	0,00	1747,38
600,00	4487,98	1570,79	1844,57	910,03	0,23	4500	1570,79	0,00	1733,38

Ausgabe Energie(bilanz) TR22 hrr.csv in FDS5

Radiation=.FALSE.

→ Strahlungswärmeverlust nachvollziehbar

→ Gleichgewicht?

→ Nein!

8. Anwender-Treffen der FDS Usergroup

4. Lösung in FDS 6?

- Auszug User's Guide FDS 6:

$$\underbrace{\frac{\partial}{\partial t} \int \rho h_s dV}_{Q\_ENTH} = \underbrace{\dot{m}_b h_{s,b} - \int \rho \mathbf{u} h_s \cdot d\mathbf{S}}_{Q\_CONV} + \underbrace{\dot{q}_{b,w} + \int k \nabla T \cdot d\mathbf{S}}_{Q\_COND} + \underbrace{\sum_{\alpha} \int h_{s,\alpha} \rho D_{\alpha} \nabla Y_{\alpha} \cdot d\mathbf{S}}_{Q\_DIFF}$$

$$+ \underbrace{\dot{q}_{b,r} - \int \dot{\mathbf{q}}_r'' \cdot d\mathbf{S}}_{Q\_RADI} + \underbrace{\int \dot{q}''' dV}_{HRR} + \underbrace{\int \frac{d\bar{p}}{dt} dV}_{Q\_PRES} + \underbrace{(-\dot{q}_{b,c} - \dot{q}_{b,r} - \dot{q}_{b,w})}_{Q\_PART}$$

- komplexere Zusammenstellung!
- einzelne Anteile besser getrennt!

Fragestellungen:

- Welche Größen werden ausgegeben?
- Verbesserung der Ergebnisse bzgl. Nachvollziehbarkeit und Gleichgewicht?

- 8. Anwender-Treffen der FDS Usergroup

**WIJNVELD // INGENIEURE**

 INGENIEURE FÜR BRANDSCHUTZ  
UND INGENIEURMETHODEN

#### 4. Lösung in FDS 6?

$\frac{\partial}{\partial t} \int \rho h_s dV$	Q_ENTH:	Enthalpieänderung im Volumen V, Änderung der inneren Energie
$\dot{m}_b h_{s,b} - \int \rho \mathbf{u} h_s \cdot d\mathbf{S}$	Q_CONV:	Wärme konvektion; ein-/ausströmende Energie über die Oberfläche S
$\dot{q}_{b,w} + \int k \nabla T \cdot d\mathbf{S}$	Q_COND:	Wärmeleitung; Wärmeleitung über Oberflächen S
$\sum_{\alpha} \int h_{s,\alpha} \rho D_{\alpha} \nabla Y_{\alpha} \cdot d\mathbf{S}$	Q_DIFF:	Diffusionsenergie; thermisch bedingter Transport aller Teilchen $\alpha$ über Oberfläche S
$\dot{q}_{b,r} - \int \dot{q}_r'' \cdot d\mathbf{S}$	Q_RADI:	Strahlungsenergie, Wärmestrahlung über Oberfläche S
$\int \dot{q}''' dV$	HRR:	Energiefreisetzung im Volumen
$\int \frac{d\bar{p}}{dt} dV$	Q_PRES:	Druckänderungsenergie im Volumen
$(-\dot{q}_{b,c} - \dot{q}_{b,r} - \dot{q}_{b,w})$	Q_PART:	über alle Lagrange-Partikel aufsummierte Energien (Wärme konvektion (c), -strahlung (r) und -leitung (w))
	Q_TOTAL:	zusätzliche Spalte als Summe der rechten Seite = Q_ENTH (ideal)

Wijnveld // Ingenieure, Ingenieure für Brandschutz und Ingenieurmethoden, Mercatorstraße 13, 49080 Osnabrück, www.wijnveld-ingenieure.de

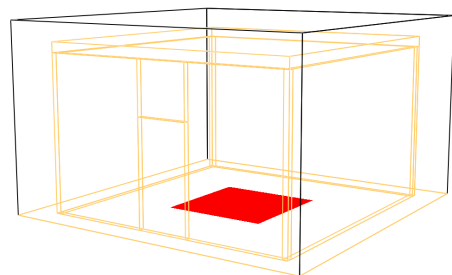
- 8. Anwender-Treffen der FDS Usergroup

**WIJNVELD // INGENIEURE**

 INGENIEURE FÜR BRANDSCHUTZ  
UND INGENIEURMETHODEN

#### 2. Problemstellung – Variationsrechnungen Testraum

- Netz 6,0m x 6,0m x 3,6m, 10cm Zellgröße
- Netzgrenzen = 'open'
- Wände 10cm dick, jeweils bei 0,5m und 5,5m
- Tür 2,0m<sup>2</sup> in der Mitte einer Wand
- Raumhöhe 3,20m
- Brandquelle (geändert):
  - Brandfläche 2,0m x 2,0m in der Mitte
  - HRRPUA=250 kW konstant (→1.000 kW),
  - SOOT\_YIELD=0.0, CO\_YIELD=0.0
  - Brennstoff Holz: C=3.4, H=6.2, O=2.5
  - HOC = 10.000 kJ/kg



Wijnveld // Ingenieure, Ingenieure für Brandschutz und Ingenieurmethoden, Mercatorstraße 13, 49080 Osnabrück, www.wijnveld-ingenieure.de

8. Anwender-Treffen der FDS Usergroup

4. Lösung in FDS 6?

Time (sec.)	HRR [kW]	Q_RADI [kW]	Q_CONV [kW]	Q_COND [kW]	Q_DIFF [kW]	Q_PRES [kW]	Q_PART [kW]	Q_GEOM [kW]	Q_ENTH [kW]	Q_TOTAL [kW]	BURN_RATE [kg/s]	HRR=BURN_RATE x HOC [kW]	Gleichgewicht Q_TOTAL - Q_ENTH [kW]	Q_RADI=0,35xHRR [kW]	Differenz Q_RADI [kW]
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0,00	0	0,00
2,00	503,35	-169,14	-297,88	-12,50	-6,91	0,00	0,00	0,00	13,85	16,91	0,07	680,37	3,05	176,17	7,03
4,00	878,02	-282,05	-542,73	-26,65	-12,85	0,00	0,00	0,00	12,21	13,75	0,10	991,25	1,54	307,31	25,26
6,01	1072,86	-343,79	-636,19	-65,38	-12,95	0,00	0,00	0,00	12,64	14,55	0,10	999,84	1,91	375,5	31,71
8,01	1034,92	-328,64	-613,59	-69,68	-13,33	0,00	0,00	0,00	8,72	9,67	0,10	1000	0,95	362,22	33,58
10,01	1002,33	-316,31	-585,63	-70,68	-13,49	0,00	0,00	0,00	14,67	16,22	0,10	1000	1,55	350,82	34,51
12,00	985,52	-312,12	-561,18	-81,34	-13,33	0,00	0,00	0,00	15,87	17,54	0,10	1000	1,67	344,93	32,81
14,00	1011,44	-324,49	-559,41	-95,39	-13,35	0,00	0,00	0,00	18,21	18,80	0,10	1000	0,59	354	29,51
16,01	1002,65	-325,81	-544,51	-100,75	-13,31	0,00	0,00	0,00	17,06	18,26	0,10	1000	1,20	350,93	25,12
18,00	965,03	-321,68	-502,01	-110,03	-13,19	0,00	0,00	0,00	17,07	18,12	0,10	1000	1,05	337,76	16,09
20,01	972,14	-330,36	-489,02	-121,61	-13,02	0,00	0,00	0,00	17,33	18,13	0,10	1000	0,80	340,25	9,89

Ø 998,55 kW

580,01	982,36	-447,78	-378,98	-142,11	-14,94	0,00	0,00	0,00	-0,91	-1,45	0,10	1000	-0,54	343,83	-103,95
582,00	1008,92	-452,15	-402,74	-140,13	-15,00	0,00	0,00	0,00	-1,91	-1,10	0,10	1000	0,81	353,12	-99,03
584,00	1009,55	-452,25	-400,08	-140,25	-15,03	0,00	0,00	0,00	1,64	1,94	0,10	1000	0,30	353,34	-98,91
586,01	1000,47	-454,19	-392,19	-143,73	-15,01	0,00	0,00	0,00	-1,90	-1,65	0,10	1000	0,26	350,16	-101,03
588,00	1003,47	-447,33	-397,87	-139,97	-14,97	0,00	0,00	0,00	1,57	3,33	0,10	1000	1,76	351,22	-96,11
590,01	995,81	-449,29	-386,32	-143,13	-14,98	0,00	0,00	0,00	1,46	2,10	0,10	1000	0,64	348,53	-100,76
592,00	995,93	-451,08	-384,86	-142,99	-15,04	0,00	0,00	0,00	1,67	1,96	0,10	1000	0,29	348,58	-102,50
594,01	1004,84	-457,26	-388,11	-142,93	-14,98	0,00	0,00	0,00	2,05	1,55	0,10	1000	-0,50	351,69	-105,57
596,01	999,78	-453,68	-389,64	-143,73	-15,00	0,00	0,00	0,00	-2,53	-2,27	0,10	1000	0,26	349,92	-103,76
598,02	985,09	-446,71	-383,51	-141,47	-14,93	0,00	0,00	0,00	-1,45	-1,54	0,10	1000	-0,09	344,78	-101,93
600,00	997,88	-448,07	-396,35	-138,04	-15,01	0,00	0,00	0,00	-0,16	0,41	0,10	1000	0,58	349,26	-98,81

Wijnveld // Ingenieure, Ingenieure für Brandschutz und Ingenieurmethoden, Mercatorstraße 13, 49080 Osnabrück, www.wijnveld-ingenieure.de

8. Anwender-Treffen der FDS Usergroup

4. Untersuchungen mit FDS 6

Variantenberechnungen

- Standard (Ergebnisse s.v.):

ADIABATIC=.FALSE., RADIATIVE\_FRACTION = 0.35

$$\text{HEAT\_TRANSFER\_COEFFICIENT (HTC)} = \max \left[ C |T_g - T_w|^{\frac{1}{3}}, \frac{k}{L} \text{Nu} \right]$$

- Variation:

- ADIABATIC=.TRUE.
- RADIATION = .FALSE., RADIATIVE\_FRACTION = 0.0
- RADIATION = .FALSE., RADIATIVE\_FRACTION = 0.35
- HEAT\_TRANSFER\_COEFFICIENT = 0.0
- ADIABATIC=.TRUE, RADIATION = .FALSE., RADIATIVE\_FRACTION = 0.0, HTC = 0.0

Wijnveld // Ingenieure, Ingenieure für Brandschutz und Ingenieurmethoden, Mercatorstraße 13, 49080 Osnabrück, www.wijnveld-ingenieure.de

8. Anwender-Treffen der FDS Usergroup

4. Untersuchungen mit FDS – RADIATION=.FALSE.

Time	HRR	Q_RADI	Q_CONV	Q_COND	Q_DIFF	Q PRES	Q PART	Q GEOM	Q ENTH	Q TOTAL	BURN RATE	HRR=BURN_ RATE x HOC	Gleichgewicht Q_TOTAL - Q_ENTH	Q_RADI= 0,00xHRR 0,35xHRR	Differenz Q_RADI
[sec.]	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]	[kg/s]	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]
<b>RADIATIVE_FRACTION=0.00</b>															
580,01	1003,52	0,00	-647,72	-340,45	-14,85	0,00	0,00	0,00	1,31	0,50	0,10	1000	-0,81	0	0,00
582,00	984,58	0,00	-635,19	-334,39	-14,81	0,00	0,00	0,00	-0,04	0,19	0,10	1000	0,23	0	0,00
584,01	1000,11	0,00	-651,59	-334,27	-14,80	0,00	0,00	0,00	0,39	-0,55	0,10	1000	-0,94	0	0,00
586,01	988,37	0,00	-635,41	-340,18	-14,75	0,00	0,00	0,00	-2,51	-1,97	0,10	1000	0,54	0	0,00
588,00	1003,37	0,00	-648,98	-338,54	-14,80	0,00	0,00	0,00	1,53	1,05	0,10	1000	-0,48	0	0,00
590,00	1014,67	0,00	-659,38	-341,93	-14,81	0,00	0,00	0,00	-2,92	-1,45	0,10	1000	1,46	0	0,00
592,01	1004,55	0,00	-648,57	-335,43	-14,76	0,00	0,00	0,00	3,75	5,78	0,10	1000	2,03	0	0,00
594,00	992,57	0,00	-631,51	-341,96	-14,83	0,00	0,00	0,00	5,48	4,27	0,10	1000	-1,20	0	0,00
596,00	1008,41	0,00	-646,09	-350,55	-14,88	0,00	0,00	0,00	-3,76	-3,11	0,10	1000	0,65	0	0,00
598,01	989,37	0,00	-633,97	-340,30	-14,77	0,00	0,00	0,00	0,13	0,34	0,10	1000	0,21	0	0,00
600,00	1006,42	0,00	-652,83	-337,17	-14,81	0,00	0,00	0,00	-0,41	1,61	0,10	1000	2,02	0	0,00
<b>RADIATIVE_FRACTION=0.35</b>															
580,00	1005,40	-351,89	-428,90	-209,62	-14,76	0,00	0,00	0,00	0,36	0,24	0,10	1000	-0,12	351,89	0,00
582,00	1002,53	-350,89	-424,41	-214,06	-14,73	0,00	0,00	0,00	-0,90	-1,55	0,10	1000	-0,65	350,89	0,00
584,01	1002,43	-350,85	-423,26	-210,05	-14,66	0,00	0,00	0,00	3,30	3,60	0,10	1000	0,30	350,85	0,00
586,01	990,99	-346,85	-420,20	-210,22	-14,71	0,00	0,00	0,00	-0,49	-0,99	0,10	1000	-0,50	346,85	0,00
588,01	1017,25	-356,04	-439,05	-207,12	-14,76	0,00	0,00	0,00	0,39	0,28	0,10	1000	-0,11	356,04	0,00
590,01	984,13	-344,45	-421,60	-204,68	-14,68	0,00	0,00	0,00	-2,01	-1,28	0,10	1000	0,73	344,45	0,00
592,01	1008,22	-352,88	-435,54	-202,86	-14,75	0,00	0,00	0,00	2,20	2,20	0,10	1000	0,00	352,88	0,00
594,01	999,13	-349,70	-426,30	-208,67	-14,77	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,30	0,10	1000	-0,30	349,70	0,00
596,01	974,33	-341,01	-407,80	-210,28	-14,69	0,00	0,00	0,00	0,33	0,55	0,10	1000	0,22	341,01	0,00
598,01	1015,35	-355,37	-435,52	-207,72	-14,75	0,00	0,00	0,00	1,58	1,99	0,10	1000	0,41	355,37	0,00
600,01	1009,87	-353,46	-432,40	-213,00	-14,76	0,00	0,00	0,00	-3,34	-3,75	0,10	1000	-0,41	353,46	0,00

Wijnveld // Ingenieure, Ingenieure für Brandschutz und Ingenieurmethoden, Mercatorstraße 13, 49080 Osnabrück, www.wijnveld-ingenieure.de

8. Anwender-Treffen der FDS Usergroup

4. Untersuchungen mit FDS

Time	HRR	Q_RADI	Q_CONV	Q_COND	Q_DIFF	Q PRES	Q PART	Q GEOM	Q ENTH	Q TOTAL	BURN RATE	HRR=BURN_ RATE x HOC	Gleichgewicht Q_TOTAL - Q_ENTH	Q_RADI= 0,35xHRR 0,00xHRR	Differenz Q_RADI
[sec.]	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]	[kg/s]	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]
<b>ADIABATIC=.TRUE., HTC=0.00, RADIATION=.FALSE., RADIATIVE_FRACT=0.35</b>															
580,01	1003,01	-351,05	-634,45	-2,63	-14,78	0,00	0,00	0,00	0,99	0,10	0,10	1000	-0,89	351,05	0,00
582,01	996,61	-348,81	-631,38	-2,18	-14,75	0,00	0,00	0,00	-0,35	-0,51	0,10	1000	-0,17	348,81	0,00
584,01	1002,80	-350,98	-636,82	-2,18	-14,70	0,00	0,00	0,00	-1,67	-1,88	0,10	1000	-0,21	350,98	0,00
586,00	993,23	-347,63	-628,56	-2,60	-14,75	0,00	0,00	0,00	0,67	-0,31	0,10	1000	-0,98	347,63	0,00
588,00	997,86	-349,25	-630,49	-2,44	-14,79	0,00	0,00	0,00	0,19	0,89	0,10	1000	0,70	349,25	0,00
590,01	1005,41	-351,90	-635,93	-2,30	-14,76	0,00	0,00	0,00	2,38	0,53	0,10	1000	-1,86	351,90	0,00
592,01	1010,57	-353,70	-637,96	-2,09	-14,75	0,00	0,00	0,00	1,84	2,06	0,10	1000	0,23	353,70	0,00
594,00	990,23	-346,58	-630,34	-1,90	-14,73	0,00	0,00	0,00	-1,20	-3,31	0,10	1000	-2,11	346,58	0,00
596,01	990,91	-346,82	-626,79	-2,58	-14,70	0,00	0,00	0,00	0,51	0,02	0,10	1000	-0,48	346,82	0,00
598,00	1008,48	-352,97	-639,22	-1,89	-14,68	0,00	0,00	0,00	-0,73	-0,29	0,10	1000	0,44	352,97	0,00
600,01	1007,20	-352,52	-636,67	-1,97	-14,74	0,00	0,00	0,00	1,07	1,30	0,10	1000	0,23	352,52	0,00
<b>ADIABATIC=.TRUE., HTC=0.00, RADIATION=.FALSE., RADIATIVE_FRACT=0.00</b>															
580,00	993,24	0,00	-971,25	-4,43	-14,75	0,00	0,00	0,00	4,85	2,81	0,10	1000	-2,05	0	0,00
582,00	1002,12	0,00	-982,37	-3,93	-14,70	0,00	0,00	0,00	2,77	1,12	0,10	1000	-1,65	0	0,00
584,01	1002,67	0,00	-983,79	-3,31	-14,70	0,00	0,00	0,00	1,04	0,87	0,10	1000	-0,17	0	0,00
586,00	994,15	0,00	-975,03	-2,62	-14,72	0,00	0,00	0,00	1,86	1,79	0,10	1000	-0,07	0	0,00
588,00	997,64	0,00	-980,97	-3,83	-14,69	0,00	0,00	0,00	-0,05	-1,86	0,10	1000	-1,81	0	0,00
590,00	1015,65	0,00	-997,51	-3,43	-14,71	0,00	0,00	0,00	0,27	0,00	0,10	1000	-0,27	0	0,00
592,00	1004,30	0,00	-989,03	-3,02	-14,72	0,00	0,00	0,00	-4,07	-2,47	0,10	1000	1,59	0	0,00
594,00	993,49	0,00	-975,38	-3,02	-14,56	0,00	0,00	0,00	0,84	0,52	0,10	1000	-0,32	0	0,00
596,00	1014,71	0,00	-990,92	-2,85	-14,77	0,00	0,00	0,00	3,29	6,17	0,10	1000	2,88	0	0,00
598,00	1001,71	0,00	-981,67	-3,08	-14,79	0,00	0,00	0,00	5,02	2,17	0,10	1000	-2,85	0	0,00
600,00	986,39	0,00	-977,55	-3,15	-14,82	0,00	0,00	0,00	-8,31	-9,12	0,10	1000	-0,81	0	0,00

Wijnveld // Ingenieure, Ingenieure für Brandschutz und Ingenieurmethoden, Mercatorstraße 13, 49080 Osnabrück, www.wijnveld-ingenieure.de

- 8. Anwender-Treffen der FDS Usergroup

#### 4. Untersuchungen mit FDS – RADIATION=.FALSE.

- „Energieerhaltung“ (Gleichgewicht) fast erreicht
- geringe Abweichungen ggf. aus numerischer Ungenauigkeit

ADIABATIC=.TRUE.:

- hoher konduktiver Wärmeverlust wird dennoch berechnet

RADIATION=.FALSE.:

- Nachvollziehbare Größen der Strahlungswärmeverluste  
(RADIATIVE\_FRACTION=0.00/0.35)

HEAT\_TRANSFER\_COEFFICIENT=0.0:

- sehr geringer konduktiver Wärmeverlust wird berechnet

- 8. Anwender-Treffen der FDS Usergroup

#### 5. Fazit

- Ausgabe negativer konvektiver Wärmeverlust in FDS 5 nicht nachvollziehbar!
- Ausgabe der Energieberechnung in FDS 6 erweitert und verbessert
- einzelne Größen sind nachvollziehbar (HRR, Q\_RADI)
- Energieerhaltung fast erreicht, nur geringe Abweichung
- konduktiver Wärmeverlust trotz adiabater Oberflächen und HTC=0.0 konnte (noch) nicht geklärt werden
  
- Weitere Ausgabegrößen sind noch zu prüfen! (Q\_PRES, Q\_PART, Q\_GEOM)
- Weitere Einflüsse bei Variation der Reaktionseigenschaften sind ebenfalls zu untersuchen

**Dr. Matthias Münch:**

**Das Wärmestrahlungsmodell in FDS.**

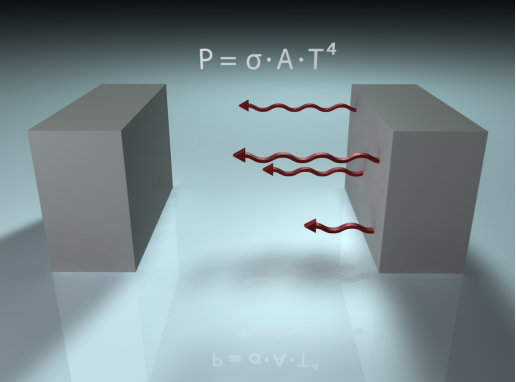
**INURI**  
Interessengruppe  
Numerische Risikoanalyse

Experten für  
Simulationsmethoden  
im Brandschutz  
und der Gefahrenabwehr

## Das Wärmestrahlungsmodell in FDS

Matthias Münch

Projekt: FDS V&V Strahlungslöser



INURI GmbH  
Haderslebener Str. 9  
12163 Berlin

[www.inuri.de](http://www.inuri.de)  
[info@inuri.de](mailto:info@inuri.de)

8. FDS-Usergroup Treffen  
Berlin, 6.-7. November 2014

## Eignungsüberprüfung von CFD-Programmen

**INURI**

### Konzeptvorstellung

---

#### Inhaltsübersicht:

##### 1. Rückblick

- ▶ Einführung Wärmestrahlung
- ▶ Testfall plate\_view\_factor
- ▶ FDS 5 Testergebnisse

##### 2. Ergebnisse FDS 6

##### 3. fvDOM Code Analyse

##### 4. Zusammenfassung

---

## Wärmestrahlung

**INURI**

### Einführung

---

#### Wärmetransportprozesse:

##### 1. Wärmeleitung

stoffgebunden, aber ohne Materialtransport

##### 2. Wärmekonvektion

Transport innerer Energie in einem Fluid

##### 3. Wärmestrahlung

Transport durch diskrete Photonen als Energieträger

**Wärmestrahlung ist ein wesentlicher  
Transportmechanismus im Brandfall**

---

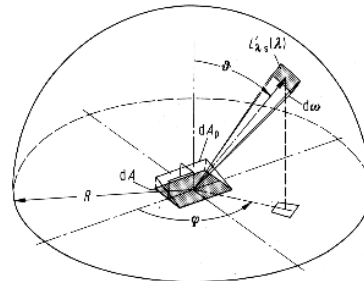
## Wärmestrahlung

Mathematisches Modell

INURI

### Komplexes mathematisches Modell

- ▶ zahlreiche Abhängigkeiten  
wie z.B. Material, Frequenz, ...
- ▶ komplizierte Physik  
wie z.B. Streuung, Reflexion, ...
- ▶ vereinfachte quasi-stationäre  
Strahlungstransportgleichung



Quelle: Siegel et al.

$$\dot{q}_{Str} = \int_{\lambda=0}^{\infty} \int_{\omega=0}^{4\pi} \frac{dI'_{\lambda}}{ds} d\omega d\lambda$$

$$\text{mit } \frac{dI'_{\lambda}}{ds} = -K_{\lambda,s} I'_{\lambda}(s) + \frac{\sigma_{Streu,\lambda,s}}{4\pi} \int_{\omega=0}^{4\pi} I'_{\lambda}(s, \omega) d\omega + \alpha_{\lambda,s} I'_{\lambda,schw}(\lambda, T)$$

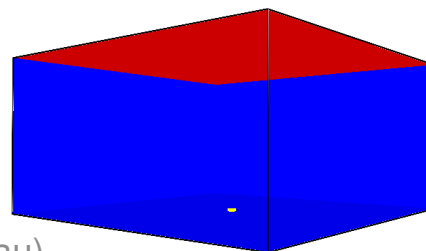
## FDS-Verifikationstest: plate\_view\_factor

INURI - FuE-Projekt V&V Strahlungsmodell

INURI

### FDS-Testfall: plate\_view\_factor

- ▶ Simulationsgebiet:
  - 2 m x 2 m x 1 m
  - Mittiger Meßpunkt (gelb)
  - 0 Kelvin kalte Seitenwände (blau)
  - 1273 Kelvin heiße Deckenplatte (rot)
  - 3d-kartesisches Gitter  $h = 10$  cm



- ▶ Analytische Lösung:  
Wärmestrahlung im Meßpunkt  $\dot{Q}'_{Rad} = 81,8 \text{ kW/m}^2$
- ▶ Testkriterium:
  - Anzahl der Strahlungswinkel  $n$



## FDS-Verifikationstest: plate\_view\_factor

INURI - FuE-Projekt V&V Strahlungsmodell

INURI

### FDS Verifikationsguide

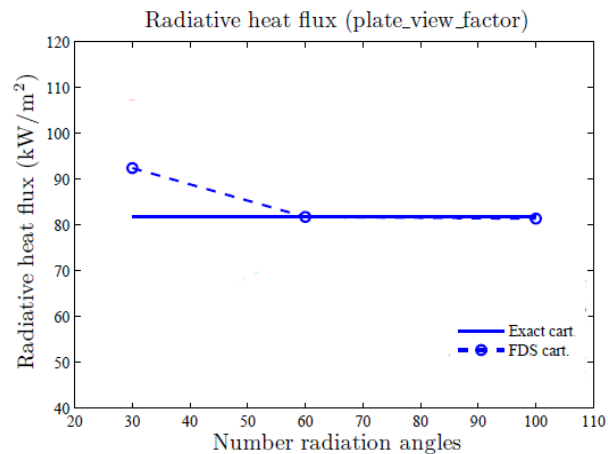
► Analytische Lösung

$$\dot{Q}''_{Rad} = 81,8 \text{ kW/m}^2$$

► Variation der Anzahl der Strahlungswinkel  $n$

- Konvergenz :  $n=60$
- Defaultwert :  $n=100$

► konstante Gitterweite  $\Delta h = 10 \text{ cm}$



## Erweiterter Test: plate\_view\_factor

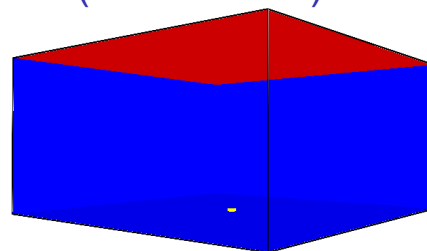
INURI - FuE-Projekt V&V Strahlungsmodell

INURI

### FDS-Testfall: plate\_view\_factor (modifiziert)

► Simulationsgebiet:

- 2,1 m x 2,1 m x 1,2 m
- Mittige Messfläche (gelb)  
konstant 0,3 x 0,3 m
- 0 Kelvin kalte Seitenwände (blau)
- 1273 Kelvin heiße Deckenplatte (rot)
- 3d-kartesisches Gitter



► Analytische Lösung:

Wärmestrahlung im Meßpunkt  $\dot{Q}''_{Rad} = 72,34 \text{ kW/m}^2$

► Testvariation:

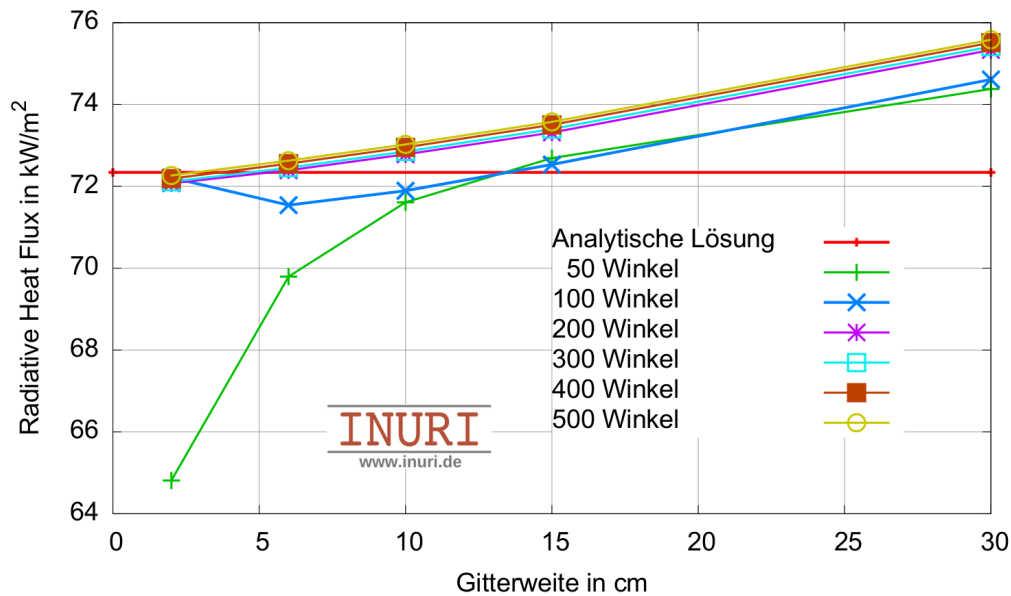
- Gitterweite  $h = 1, 2, 6, 10, 15$  und  $30 \text{ cm}$
- Strahlungswinkel  $n$

### Erweiterter FDS-Verifikationstest

INURI - FuE-Projekt V&V Strahlungsmodell



#### Mittige Messfläche (FDS 5.5.3)

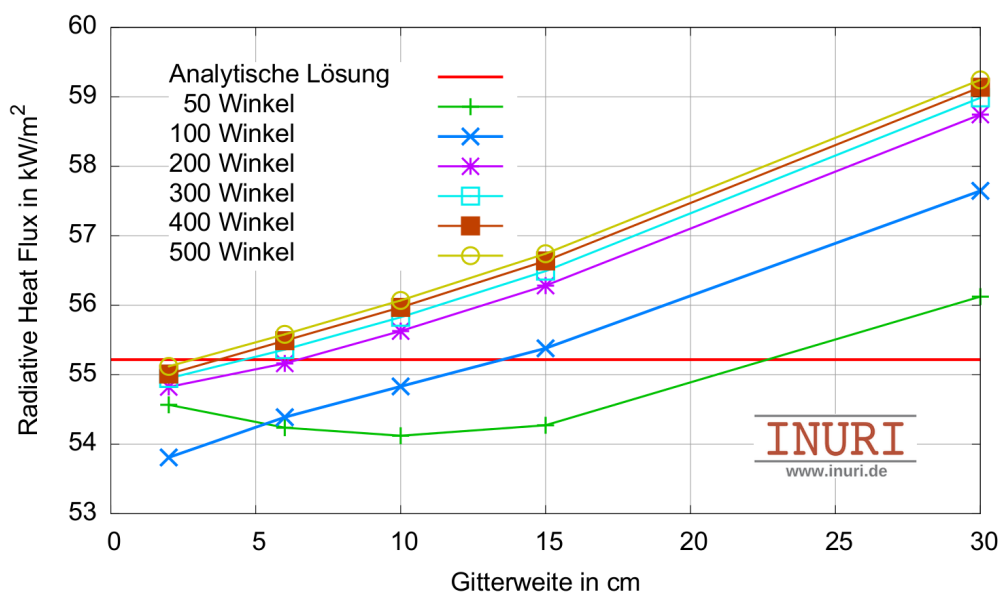


### Erweiterter FDS-Verifikationstest

INURI - FuE-Projekt V&V Strahlungsmodell



#### Gesamte Bodenfläche (FDS 5.5.3)

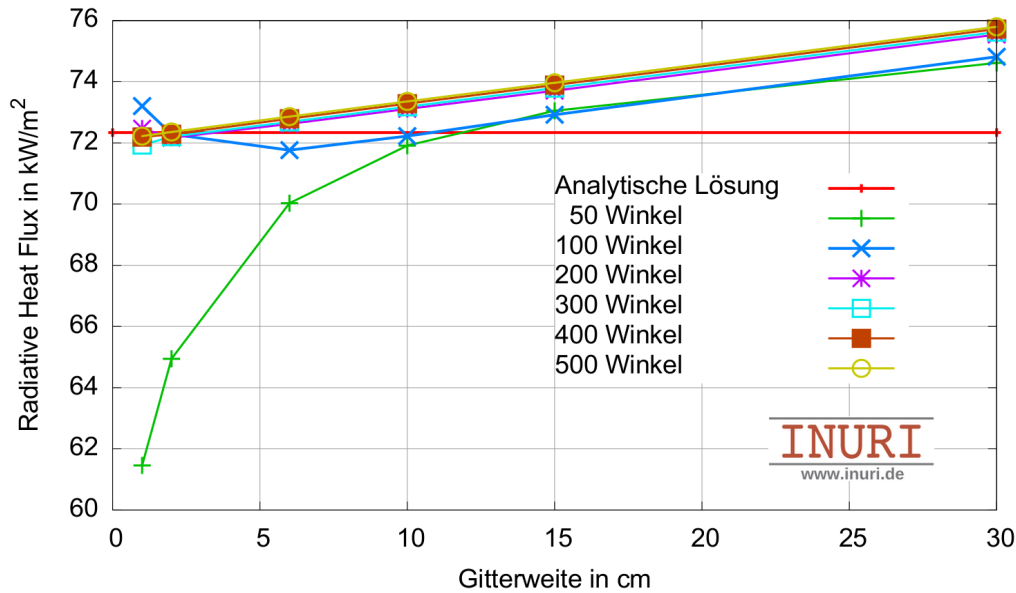


### Erweiterter FDS-Verifikationstest

INURI - FuE-Projekt V&V Strahlungsmodell



#### Mittige Messfläche (FDS 6.1.2)

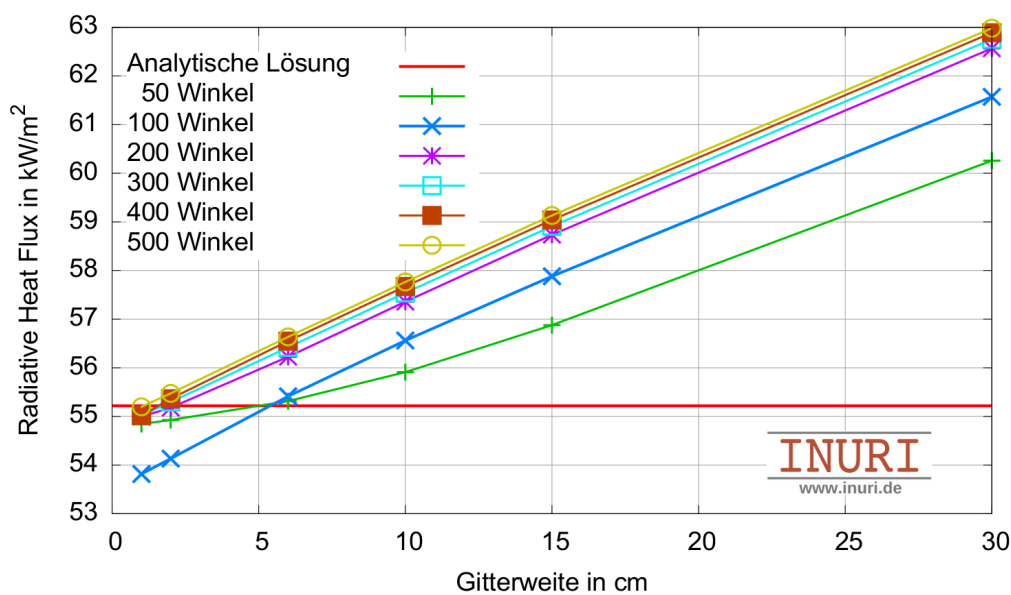


### Erweiterter FDS-Verifikationstest

INURI - FuE-Projekt V&V Strahlungsmodell



#### Gesamte Bodenfläche (FDS 6.1.2)

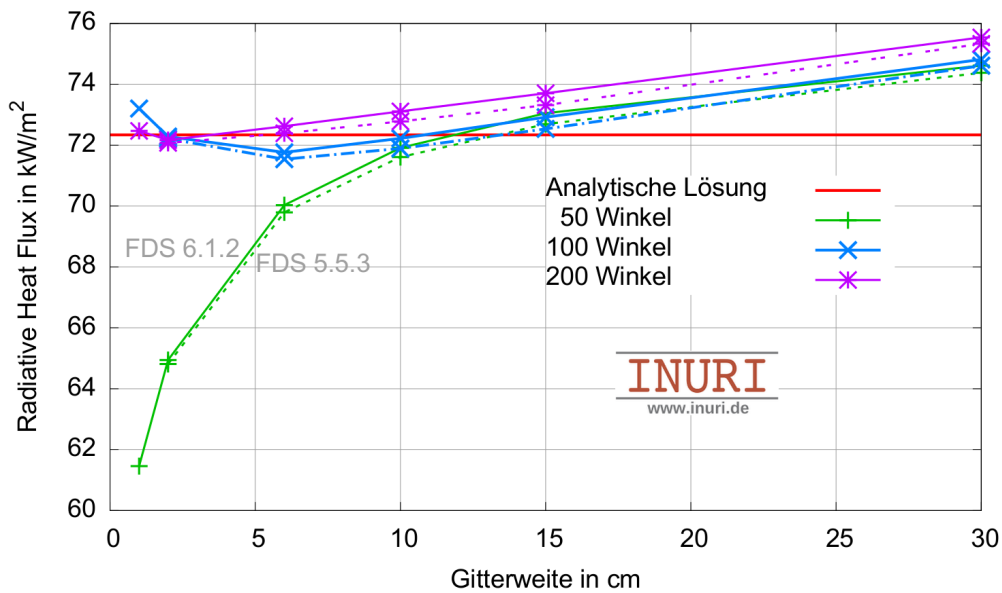


### Erweiterter FDS-Verifikationstest

INURI - FuE-Projekt V&V Strahlungsmodell



### Mittige Messfläche (FDS 6.1.2 vs. 5.5.3)

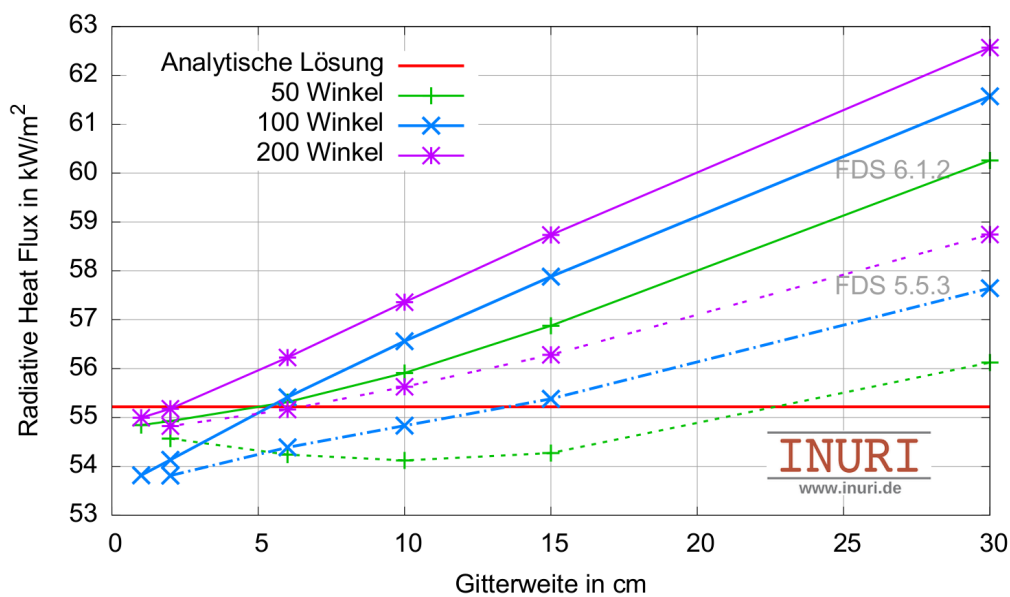


### Erweiterter FDS-Verifikationstest

INURI - FuE-Projekt V&V Strahlungsmodell



### Gesamte Bodenfläche (FDS 6.1.2 vs. 5.5.3)



## fvDOM Code Analyse

INURI - FuE-Projekt V&V Strahlungsmodell

INURI

### fvDOM-Strahlungsmodell

#### 1. FDS Version 6.1.1 rev 19822

- ▶ Modifizierter Testfall plate\_view\_factor
- ▶ Überprüfung anhand Handrechnung
- ▶ Exakte Übereinstimmung mit FDS 6.1.1

#### 2. Überprüfung mit anderen CFD-Programmen

→ Magdeburger Brand- und Explosionsschutztag  
am 26. + 27. März 2015

## Zusammenfassung

INURI - FuE-Projekt V&V Strahlungsmodell

INURI

#### 1. Ergebnisse zum Strahlungslöser

- ▶ FDS 6 zeigt auch nicht-konvergentes Lösungsverhalten.
- ▶ Algorithmus wurde in FDS 6.1.1 entsprechend der FDS-Dokumentation implementiert.
- ▶ Vergleich FDS 6.1.2 vs. 5.5.3 lässt Randprobleme vermuten.

#### 2. Bewertung

- ▶ Wärmestrahlungsdominierte Simulationen sind kritisch.
- ▶ Ursache liegt im fvDOM-Algorithmus selbst, genauer Grund aber noch unklar.

## Simulationsmethoden

im Brandschutz und in der Gefahrenabwehr

INURI



**Gregor Jäger:**

**pyFDSEvac - Make It Simple**

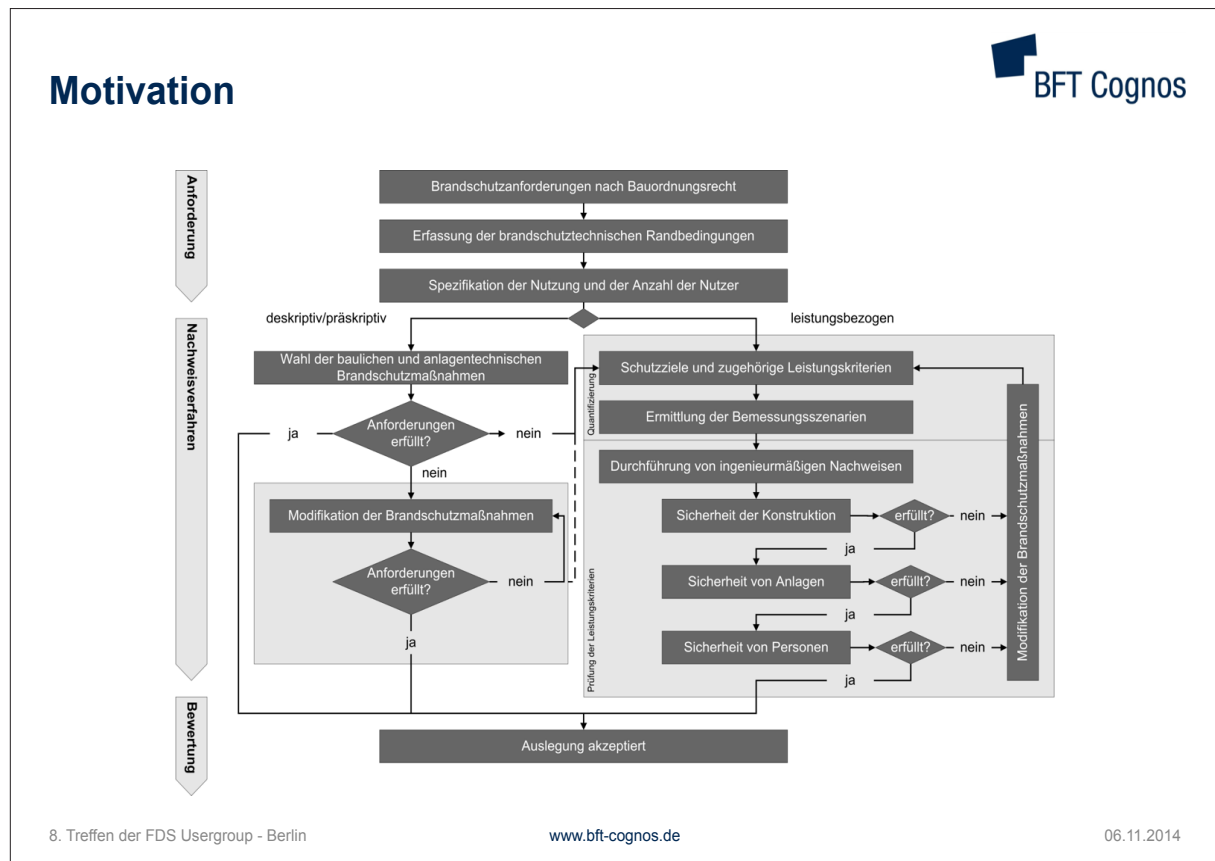


**pyFDSEvac – Make it Simple**

8. Treffen der FDS Usergroup  
6. und 7. November 2014  
Berlin



Arbeitsschutz    Betrieblicher Umweltschutz    Brandschutz    Bautechnik    Technische Anlagen



- ## Prüfkriterien für brandschutz-technische Nachweise
- Formulierung der Aufgabenstellung
  - Schutzziel: qualitative und quantitative Festlegung
  - Lösungsstrategie
  - Bemessungsszenarien
  - Eignung des verwendeten Rechenmodells
  - Interpretation der Rechenergebnisse
- vfdB-Richtlinien, **Brandschutzkonzept**, vfdB 01/01:2008-04(02)  
 ■ vfdB-Richtlinien, **Brandschutzkonzept**, vfdB 01/01-S1:2012-1(01)  
 ■ Wiese, J.: **Hinweise zur Prüfung von ingenieurmäßigen Brandsicherheitsnachweisen**, in: Tagungsband zur 59. vfdB-Jahresfachtagung 2011, 30.05.-01.06., Berlin, S. 341-364
- BFT Cognos**
8. Treffen der FDS Usergroup - Berlin www.bft-cognos.de 06.11.2014





## FDS+Evac

Stand heutiger Anwendung

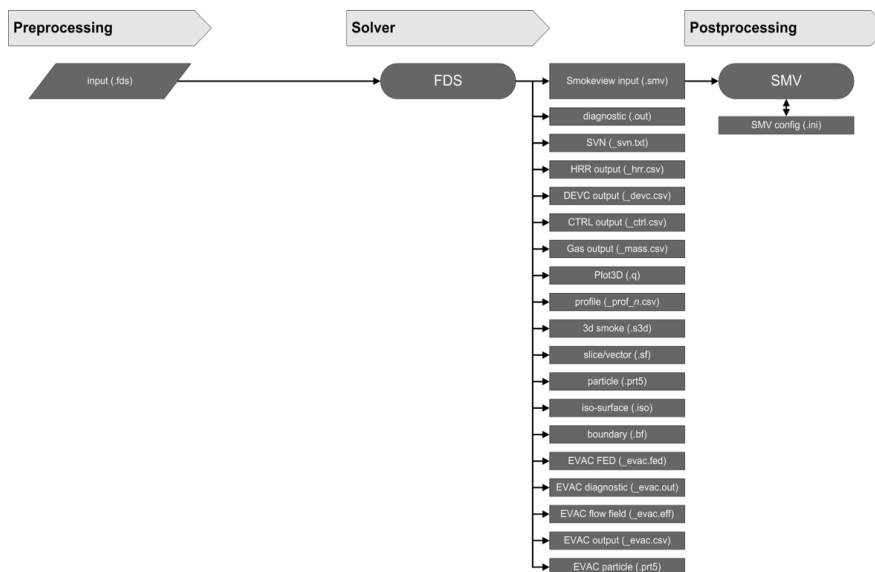
### CONTRA

- keine grafische Benutzeroberfläche (GUI)
- komplizierte Modellierung
- lange Berechnungsdauer
- Parameterstudien nicht möglich
- Programm fehleranfällig
- hoher Zeitaufwand

### PRO

- Verwendung von FDS-Geometrie
- offener Quellcode
- Auswertung von definierten Messstellen
- Postprocessing mit Smokeview

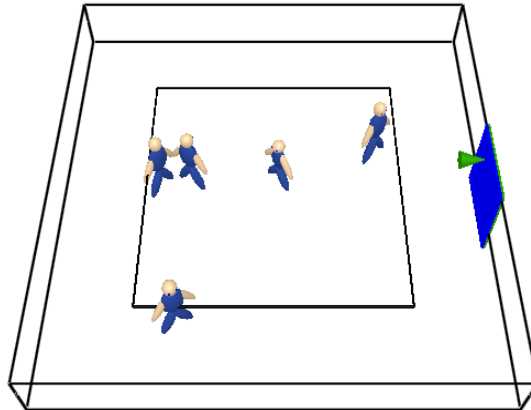
## Output File Formats



# Smokeview



Smokeview 5.6 - Oct 29 2010



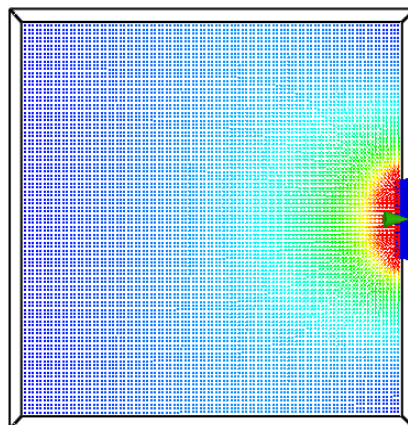
mesh: 1

Frame: 1  
Time: 0.0

# Evac flow field (\_evac.eff)



Smokeview 5.6 - Oct 29 2010

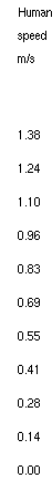
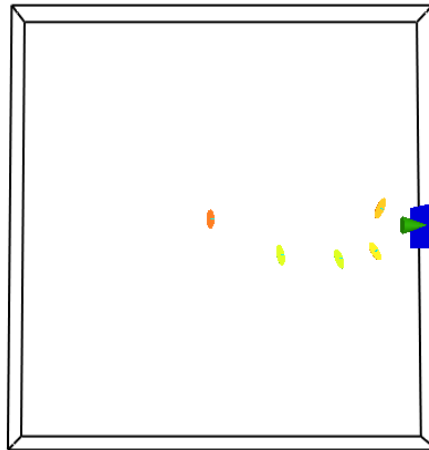


mesh: 1

Frame: 50  
Time: 0.000



### Evac Agent speed (\_evac.prt5)

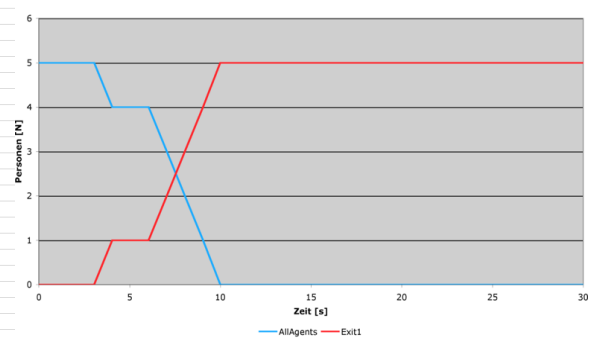


Frame: 8  
Time: 3.5



### Evac Output Data (\_evac.csv)

s	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
EVAC_Time	AgentsInside	AgentsInside	AgentsInside	ExitCounter	TargetExitCounter					
	AllAgents	GroundFloor	Mesh	Exit1	Exit1					
0,00	5	5	5	0	5					
1,00	5	5	5	0	5					
2,00	5	5	5	0	5					
3,05	5	5	5	0	5					
4,05	4	4	4	1	4					
5,05	4	4	4	1	4					
6,05	4	4	4	1	4					
7,05	3	3	3	2	3					
8,05	2	2	2	3	2					
9,05	1	1	1	4	1					
10,00	0	0	0	5	0					
11,00	0	0	0	5	0					
12,00	0	0	0	5	0					
13,00	0	0	0	5	0					
14,00	0	0	0	5	0					
15,00	0	0	0	5	0					
16,00	0	0	0	5	0					
17,00	0	0	0	5	0					
18,00	0	0	0	5	0					
19,00	0	0	0	5	0					
20,00	0	0	0	5	0					
21,00	0	0	0	5	0					
22,00	0	0	0	5	0					
23,00	0	0	0	5	0					
24,00	0	0	0	5	0					
25,00	0	0	0	5	0					
26,00	0	0	0	5	0					
27,00	0	0	0	5	0					
28,00	0	0	0	5	0					
29,00	0	0	0	5	0					
30,00	0	0	0	5	0					





## pyFDSEvac

Ausgangslage

### Ziele

- Modellierung,
- Durchführung,
- Auswertung und
- Vergleich von  $n$ -Berechnungen

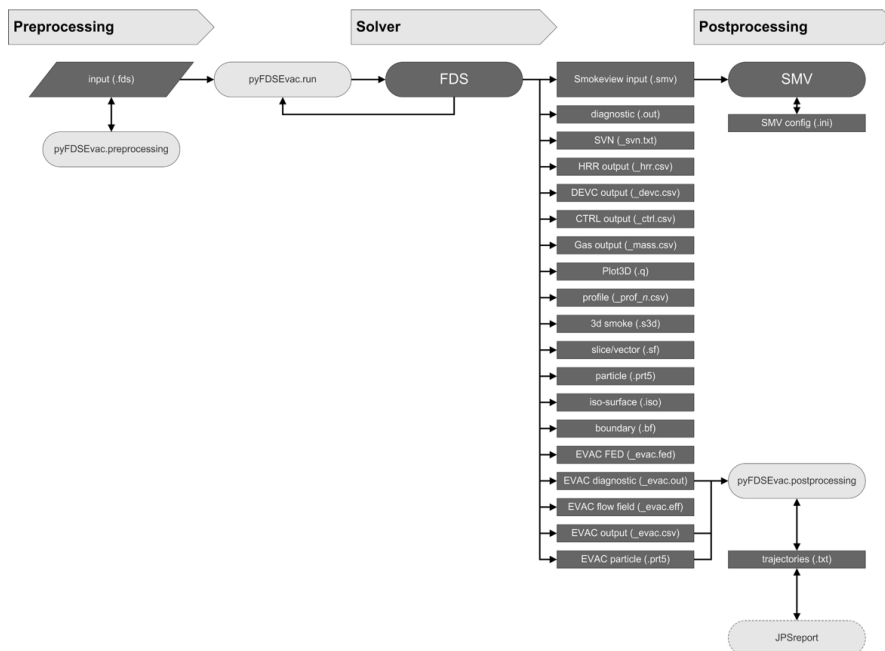
### Lösung

- skriptbasierte Bearbeitung für die Arbeitsschritte
  - preprocessing,
  - run (solver) und
  - postprocessing

### Basis

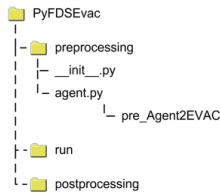
- Python 3.x (Python-Software Foundation-Lizenz, vgl. mit GNU GPL)

## pyFDSEvac





## pyFDSEvac.preprocessing



```

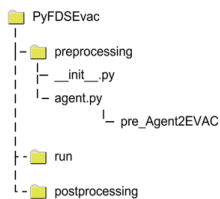
import pyFDSEvac.preprocessing as FDSEvac

# Zuordnung von Agenten
FDSEvac.agent.pre_Agent2EVAC(case_title,xls_filename,xls_sheet)
    
```

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	ID	X1	X2	Y1	Y2	Z1	Z2	PERS_ID	NIP	N_KD	KDN1	KDN2	KDN3	KDN4	KDN5
2	E01_B_09	43,60	46,00	1,20	3,80	5,90	6,70	PG_BG	2	2	EXIT_TR01	TR01_D_E01			
3	E01_B_12	40,00	42,60	1,20	4,20	5,90	6,70	PG_BG	5	2	EXIT_TR01	TR01_D_E01			
4	E01_B_13	35,80	39,00	1,20	4,20	5,90	6,70	PG_BG	6	2	EXIT_TR01	TR01_D_E01			
5	E01_B_08	31,40	34,40	1,20	4,20	5,90	6,70	PG_BG	4	2	EXIT_TR01	TR01_D_E01			
6	E01_B_01	1,00	20,00	1,20	4,00	5,90	6,70	PG_BG	13	2	EXIT_TR01	TR01_D_E01			
7	E01_BL_01	1,00	4,00	6,40	9,20	5,90	6,70	PG_BG	3	2	EXIT_TR01	TR01_D_E01			
8	E01_DV_04	1,00	4,00	10,60	13,60	5,90	6,70	PG_BG	3	2	EXIT_TR01	TR01_D_E01			
9	E01_B_02	1,40	13,40	15,80	18,60	5,90	6,70	PG_BG	11	2	EXIT_TR01	TR01_D_E01			
10	E01_B_03	14,80	18,20	15,80	18,40	5,90	6,70	PG_BG	4	2	EXIT_TR01	TR01_D_E01			
11	E01_B_04	20,00	22,80	15,80	18,40	5,90	6,70	PG_BG	3	2	EXIT_TR01	TR01_D_E01			
12	E01_BE_01	53,80	59,80	15,80	18,60	5,90	6,70	PG_BG	14	2	EXIT_TR02	TR02_D_E01			
13	E01_BL_02	56,20	59,60	1,20	4,20	5,90	6,70	PG_BG	5	2	EXIT_TR02	TR02_D_E01			
14	E01_B_05	24,20	27,20	15,80	18,60	5,90	6,70	PG_BG	3	2	EXIT_TR02	TR02_D_E01			
15	E01_B_06	51,60	55,20	1,20	4,40	5,90	6,70	PG_BG	2	2	EXIT_TR02	TR02_D_E01			
16	E01_B_07	45,00	48,00	15,60	18,60	5,90	6,70	PG_BG	2	2	EXIT_TR02	TR02_D_E01			



## pyFDSEvac.preprocessing



```

import pyFDSEvac.preprocessing as FDSEvac

# Zuordnung von Agenten
FDSEvac.agent.pre_Agent2EVAC(case_title,xls_filename,xls_sheet)
    
```

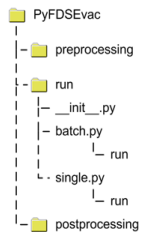
### Ausgabe in txt-Datei

```

&EVAC      ID='E01_B_09',
           XB= 43.60, 46.00,  1.20,  3.80,  5.90,  6.70,
           PERS_ID='PG_BG',
           NUMBER_INITIAL_PERSONS=2,
           KNOWN_DOOR_NAMES='EXIT_TR01', 'TR01_D_E01',
           KNOWN_DOOR_PROBS=1.0,1.0 /

&EVAC      ID='E01_B_12',
           XB= 40.00, 42.60,  1.20,  4.20,  5.90,  6.70,
           PERS_ID='PG_BG',
           NUMBER_INITIAL_PERSONS=5,
           KNOWN_DOOR_NAMES='EXIT_TR01', 'TR01_D_E01',
           KNOWN_DOOR_PROBS=1.0,1.0 /
    
```

## pyFDSEvac.run

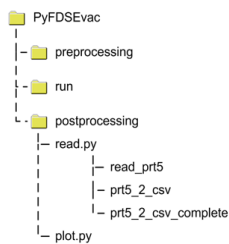


```

import pyFDSEvac as FDSEvac

# N-Berechnungen
FDSEvac.run.batch.run(FDSVersion, case_title, N_runs, N_Ebenen)
  
```

## pyFDSEvac.postprocessing



```

import pyFDSEvac.postprocessing.read as FDSEvac

# N-Berechnungen
FDSEvac.run.batch.run(FDSVersion, case_title, N_runs, N_Ebenen)

# Daten für n'ten-Durchlauf auslesen und speichern
FDSEvac.prt5_2_csv_complete(case_title, N_run, N_Ebenen)
  
```

## Particle Data (.prt5) – dump.f90



```

WRITE(LUPF) ONE_INTEGER           ! Integer 1 to check Endian-ness
WRITE(LUPF) NINT(VERSION*100.)    ! FDS version number
WRITE(LUPF) N_PART                ! Number of PARTicle classes
DO N=1,N_PART
  PC => PARTICLE_CLASS(N)
  WRITE(LUPF) PC%N_QUANTITIES,ZERO_INTEGER
                                     ! ZERO_INTEGER is a place holder
  DO NN=1,PC%N_QUANTITIES
    WRITE(LUPF) CDATA(PC%QUANTITIES_INDEX(NN))
                                     ! 30 character output quantity
    WRITE(LUPF) UDATA(PC%QUANTITIES_INDEX(NN))
                                     ! 30 character output units
  ENDDO
ENDDO

```

## Particle Data (.prt5) – dump.f90



```

WRITE(LUPF) REAL(T,FB)           ! Write out the time T as a 4 byte real
DO N=1,N_PART
  WRITE(LUPF) NPLIM              ! Number of particles in the PART class
  WRITE(LUPF) (XP(I),I=1,NPLIM),
              (YP(I),I=1,NPLIM),
              (ZP(I),I=1,NPLIM)
  WRITE(LUPF) (TA(I),I=1,NPLIM)
                                     ! Integer "tag" for each particle
  IF (PC%N_QUANTITIES > 0) WRITE(LUPF)
    ((QP(I,NN),I=1,NPLIM),NN=1,PC%N_QUANTITIES)
ENDDO

```

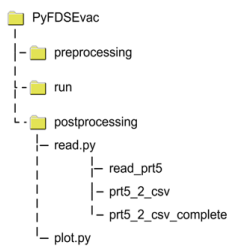


## Particle Data (.prt5) – evac.f90

```
! Dump human data into the .prt5 file
!
WRITE(LU_PART(NM)) NPLIM
WRITE(LU_PART(NM)) (XP(I), I=1, NPLIM), (YP(I), I=1, NPLIM), (ZP(I), I=1, NPLIM), &
    (AP(I, 1), I=1, NPLIM), (AP(I, 2), I=1, NPLIM), (AP(I, 3), I=1, NPLIM),
    (AP(I, 4), I=1, NPLIM)
WRITE(LU_PART(NM)) (TA(I), I=1, NPLIM)
IF (EVAC_N_QUANTITIES > 0) THEN
    WRITE(LU_PART(NM)) ((QP(I, NN), I=1, NPLIM), NN=1, EVAC_N_QUANTITIES)
END IF
```



## pyFDSEvac.postprocessing



```
import pyFDSEvac.postprocessing.read as FDSEvac

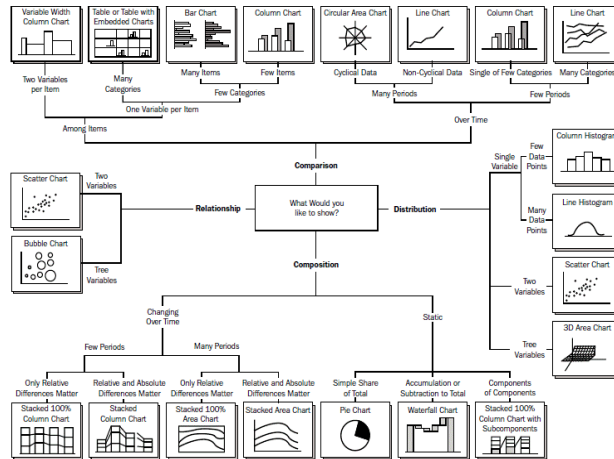
# N-Berechnungen
FDSEvac.run.batch.run(FDSVersion, case_title, N_runs, N_Ebenen)

# Daten für n'ten-Durchlauf auslesen und speichern
FDSEvac.prt5_2_csv_complete(case_title, N_run, N_Ebenen)
```

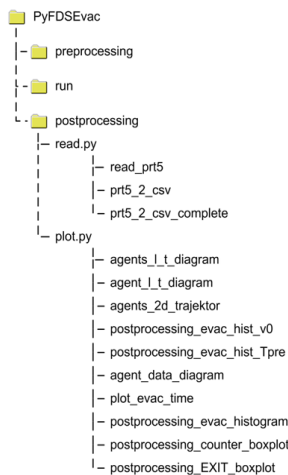
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	
1	time	TA	X	Y	Z	BA	SMaA	SMiA	AH	N_COLOR	N_MC
2	-0,5	1	1,761777639	5,393244743	1	11,48834896	0,512961864	0,301742285	1,709872842		0
3	-0,5	97	0,257468462	3,740386724	1	354,901123	0,535616338	0,315068424	1,785387754		0
4	-0,5	98	1,567419767	3,260207176	1	56,27141953	0,572647333	0,336851358	1,908824205		0
5	-0,5	99	2,430782318	5,640127182	1	289,1410828	0,520078778	0,305928677	1,733595848		0
6	-0,5	100	0,700083256	3,408771992	1	213,7977295	0,524443746	0,308496326	1,748145819		0
7	-0,5	101	5,18183136	8,240288734	1	85,77411652	0,505538762	0,297375739	1,685129046		0
8	-0,5	102	2,319147587	9,680931091	1	210,9010468	0,563392103	0,33140713	1,877973676		0
9	-0,5	103	3,43825388	8,872999191	1	253,0708008	0,478618503	0,281540304	1,595394969		0
10	-0,5	104	1,043577552	5,18975687	1	65,14151001	0,444442535	0,261460304	1,481608391		0
11	-0,5	105	5,165076256	7,080401421	1	81,80239868	0,575405121	0,338473588	1,918016911		0
12	-0,5	106	4,122020245	3,570141315	1	68,87103271	0,510614514	0,300361484	1,702048421		0
13	-0,5	107	3,542944193	3,212343693	1	97,20959473	0,560413361	0,329654902	1,868044376		0
14	-0,5	108	1,607625961	7,970738411	1	236,1329041	0,544449031	0,320264131	1,814829946		0



# pyFDSEvac.postprocessing



# pyFDSEvac.postprocessing



```

import pyFDSEvac.postprocessing.plot as FDSEvac

# N-Berechnungen
FDSEvac.run.batch.run(FDSVersion, case_title, N_runs, N_Ebenen)

# Daten für n'ten-Durchlauf auslesen und speichern
FDSEvac.agents_2d_trajektor(
    case_title, N_run, N_Agents, x1, x2, y1, y2, N_Ebenen, t_End)
    
```



**Zielsetzung**

Ermittlung der genutzten Wegbreite  $b_{eff}$  in Abhängigkeit von Personenzahl/Dichte

**Beispiel**

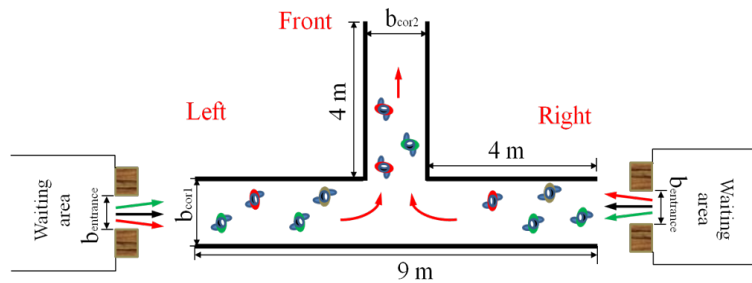
Experiment  
KO - T-Kreuzung, offen

**Versuchsablauf**

Die Agenten befinden sich zu Beginn innerhalb der Aufstellungsflächen. Anschließend durchlaufen Sie den Korridor, an der Kreuzung treffen sich die Personenströme und verlassen gemeinsam den Versuchsaufbau

Quelle:  
Dokumentation von Versuchen zur  
Personenstromdynamik Projekt „Hermes“  
Keip, C.; Ries, K.  
Universität Wuppertal  
Stand: November 2009

Forschungszentrum Jülich  
goo.gl/qDter6



8. Treffen der FDS Usergroup - Berlin

www.bft-cognos.de

06.11.2014

**KO – T-Kreuzung**



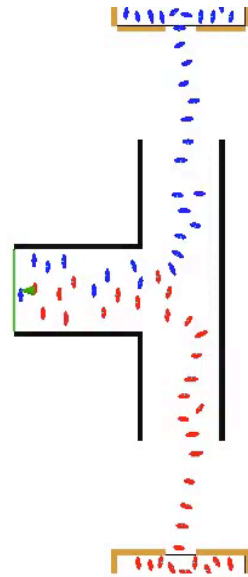
Quelle:  
Dokumentation von Versuchen zur Personenstromdynamik - Projekt „Hermes“ - Keip, C.; Ries, K. Universität Wuppertal Stand: November 2009  
Forschungszentrum Jülich - goo.gl/qDter6

8. Treffen der FDS Usergroup - Berlin

www.bft-cognos.de

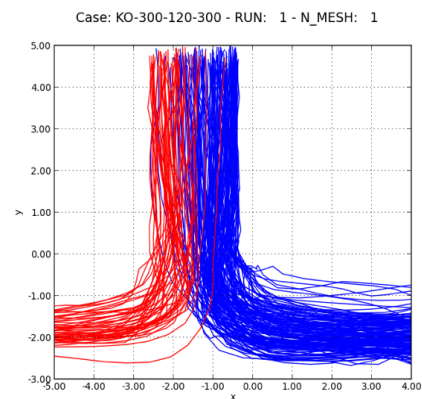
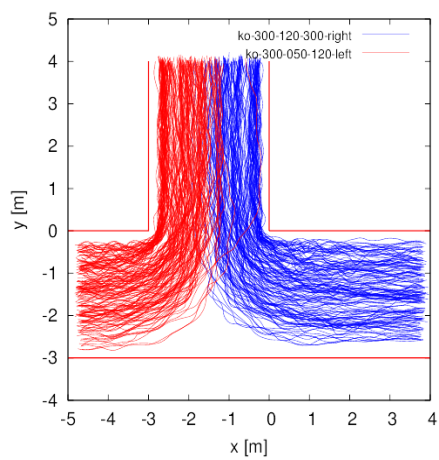
06.11.2014

# KO – T-Kreuzung



Time: -0.5

# KO – T-Kreuzung





## Ausblick

### ToDo-Liste

- Vereinheitlichung der Bezeichnungen
- Namelist-orientierte Zusammenstellung von Eingabedateien (.fds) für Parameterstudien basierend auf csv-Dateien
- Implementierung von Werkzeugen zur statistischen Versuchsplanung
- Agenten-basierte Auswertung
  - Dichte (Klassische Berechnung, Voronoi)
  - Weg-Zeit-Diagramm
  - Spezifischer Fluss von Engstellen
- Schnittstelle zu JuPedSim – JPSreport
- Veröffentlichung auf github unter GNUPL (ca. Januar 2015)

**Dr. Lukas Arnold:**

**Performance Analysis and Shared Memory Parallelisation of FDS**

# Performance Analysis and Shared Memory Parallelisation of FDS

8. FDS Usergroup Meeting, 6. - 7. November 2014, Berlin

Daniel Haarhoff, Lukas Arnold

email: [l.arnold@fz-juelich.de](mailto:l.arnold@fz-juelich.de)

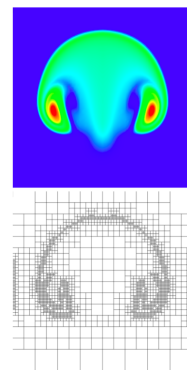
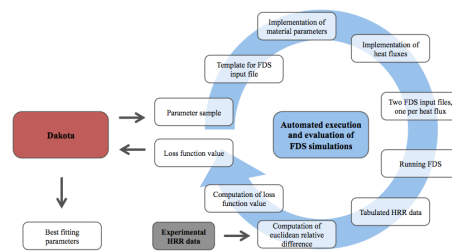
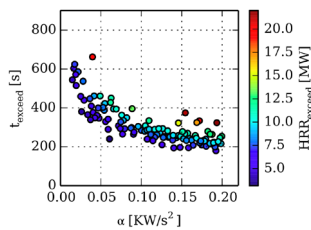
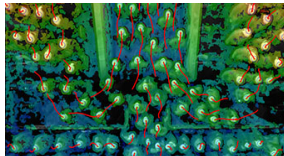
Jülich Supercomputing Centre  
Institute for Advanced Simulation  
Forschungszentrum Jülich GmbH, Germany



JSC @ FZJ



CST @ JSC



## Provokative Motivation

Q: Why did you use THIS grid resolution?

## Provokative Motivation

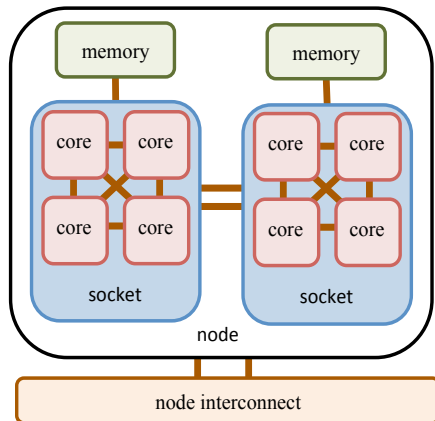
Q: Why did you use THIS grid resolution?

A: To have the simulation done by tomorrow.

## Motivation and Computer Architecture

### Why shared memory / hybrid parallelisation in FDS?

- ▶ make use of more hardware resources
- ▶ soften resource limitation due to mesh boundary placement



### Motivation for hybrid parallelisation

- ▶ hierarchical communication structures
- ▶ non-uniform memory access

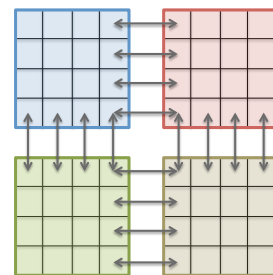
### Parallelisation approach

- ▶ OpenMP on compute nodes / sockets (shared memory)
- ▶ MPI for inter-node communication (distributed memory)

## Selected Programming Modells

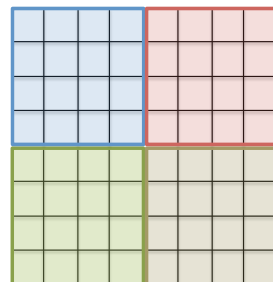
### MPI

- ▶ dispatch of processes, each assigned a rank
- ▶ explicit communication of boundaries / memory managed by programmer
- ▶ needs change of algorithms and data structures



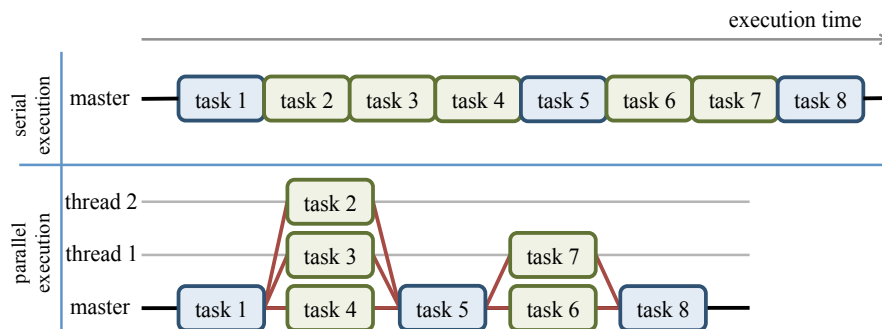
### OpenMP

- ▶ fork the main process into multiple threads
- ▶ all threads access the same memory, i.e. no explicit memory transfers
- ▶ in simplest case only loops need to be adopted





## OpenMP Example



```

1  !$OMP PARALLEL DO
2  do i = 1, length
3      r(i) = a(i) + b(i)
4  end do
5  !$OMP END PARALLEL DO

```

- ▶ lines 2-4: simple FORTRAN loop to sum arrays a and b into r
- ▶ line 1: fork OpenMP threads for loop parallelisation, automatic load balancing
- ▶ line 5: join the threads

However, reality isn't that easy...

## OpenMP Challenges (Examples)

### Parallel Task Identification

- ▶ simple independent loop iterations are fine
- ▶ a compiler is not able to check for in complex loops
  - programmer must check for himself

### Data Races

- ▶ concurrent data write access
- ▶ neither compiler nor the hardware may prevent it
  - programmer must take care for

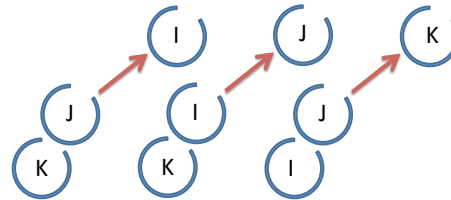
### Loop Carried Dependencies

- ▶ loop iterations depend on previous iterations
- ▶ only algorithmic restructure may help
  - programmer must redesign algorithm

### Tophat Filter – Loop Restructure

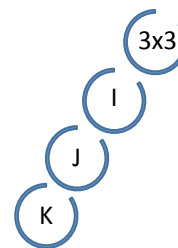
Not suitable for OpenMP:

- ▶ multiple nested loops
- ▶ function call (filter kernel) and memory copies

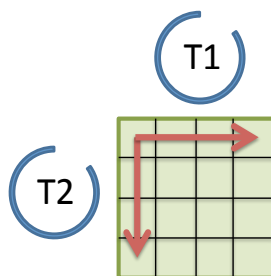


Loop restructure

- ▶ combine all loops (outer + kernel) into a single simple loop
- ▶ execute outer loop (K) in parallel



### Wall Loops – Atomic Operations



- ▶ threads access the same cells
- ▶ results in a race condition

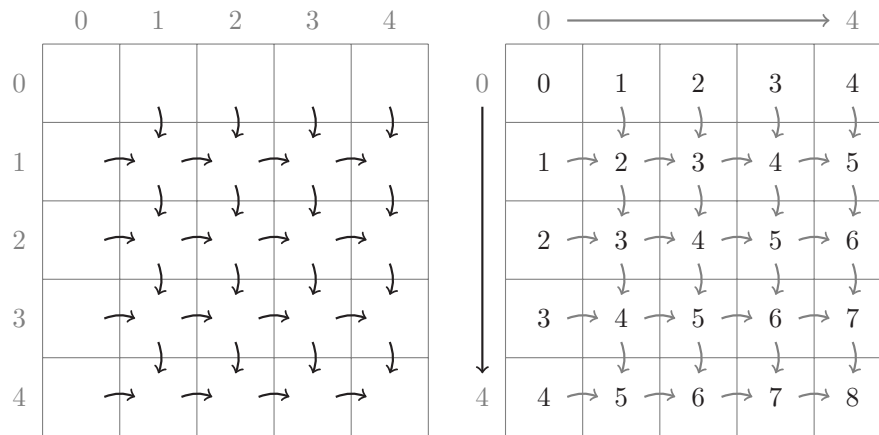
```

1 WALL_LOOP2:
2 DO IW=1, N_CELLS
3   [...]
4   SELECT CASE(IOR)
5     CASE( 1)
6       !$OMP ATOMIC WRITE
7       RHO_DZDX(I-1,J,K) = RHO_DZDN
8       !$OMP END ATOMIC
9   [...]

```

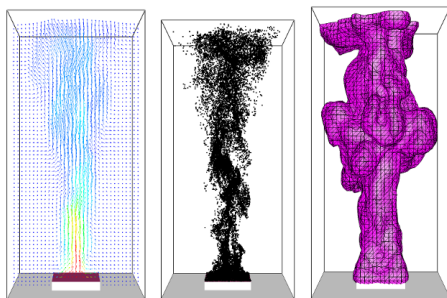
- ▶ line 6+8: instruct OpenMP to restrict concurrent access
- ▶ introduces overhead

### Radiation Solver – Loop Carried Dependencies



- ▶ a simple index looping prevents parallelisation
- ▶ idea: parallel execution inside of wavefronts
- ▶ forced to restructure algorithm
- ▶ new one computes the same results

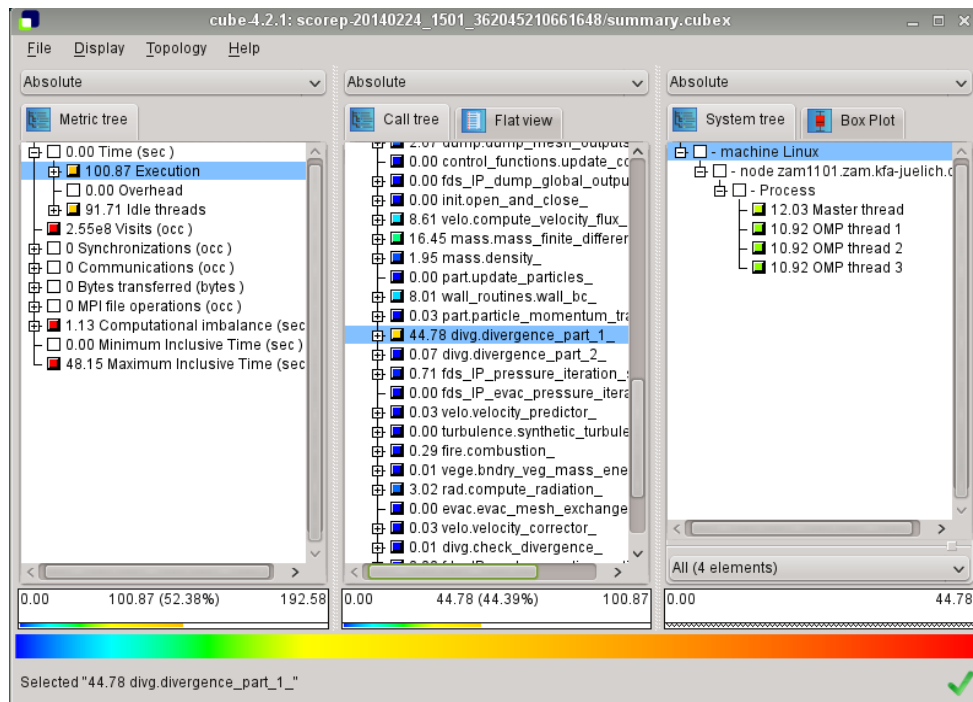
### Benchmark – FDS Scenario and Computer Systems



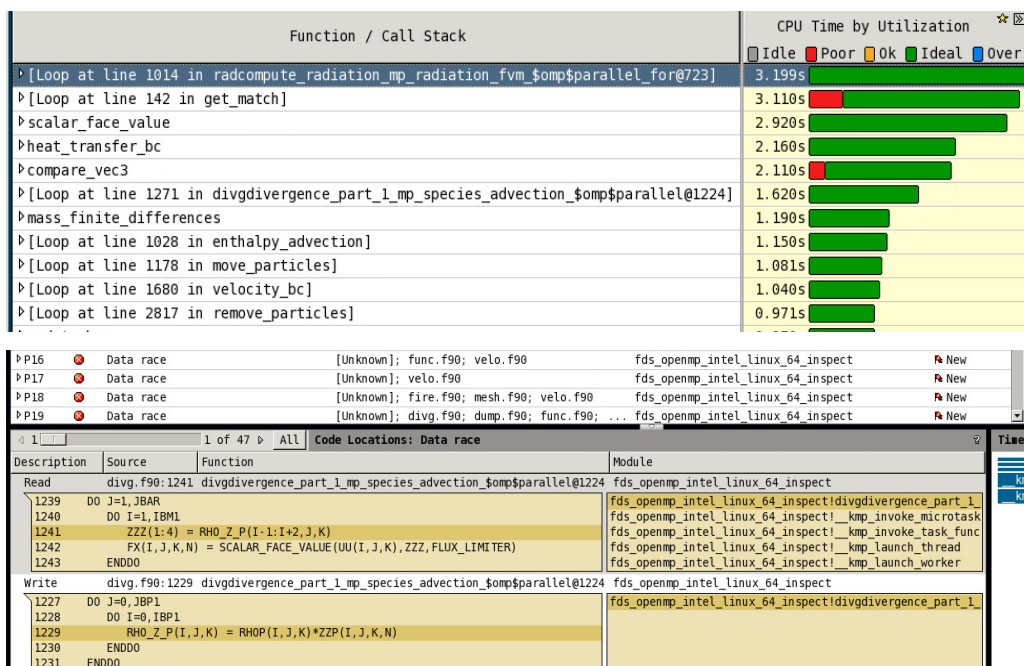
- ▶ bench2 input shipped with FDS
- ▶ various grid sizes
- ▶ fixed number of pressure iterations

	workstation	juropa2	juropa3
processor(s)	i7-2600	2x Xeon X5570	2x Xeon E5-2650
clockspeed	3.4 GHz	2.93 GHz	2.0 GHz
cores (threads)	4 (8)	8 (16)	16 (32)
cache size	8 MB	8 MB	20 MB
memory bandwidth	21 GB/s	32 GB/s	51.2 GB/s

## Tools – Scalasca



## Tools – VTune



### Serial Timing













#### Top-Down View

function	t[s]	t[%]
divergence_part_1	48.4	33.7
compute_velocity_flux	20.0	13.9
mass_finite_differences	15.9	11.1
compute_radiation	13.4	9.3
update_particles	7.4	5.2

#### Bottom-Up View

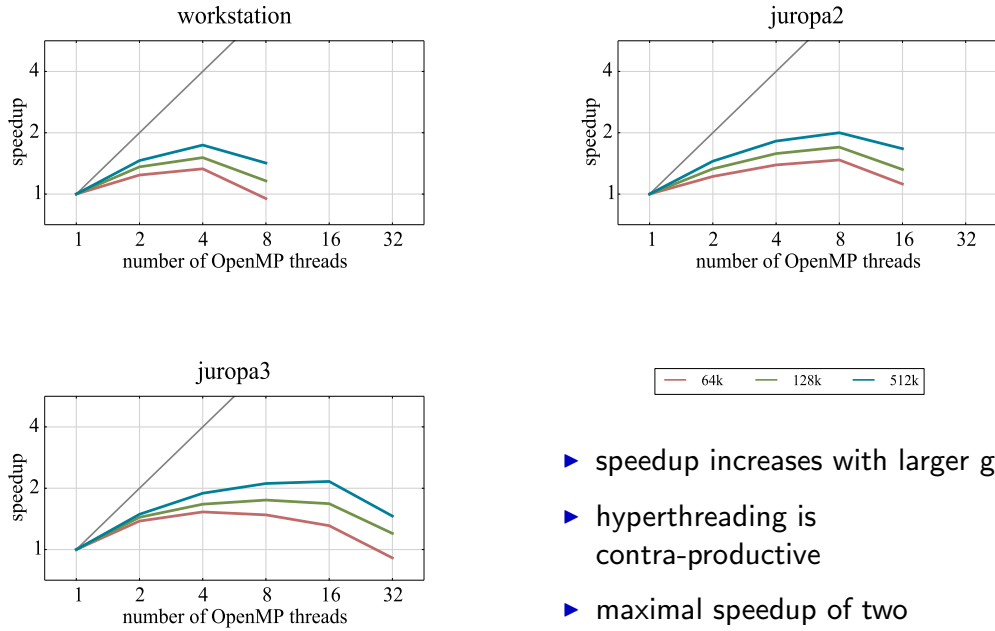
function	t[s]	t[%]
scalar_face_value	14.8	15.9
get_sensible_enthalpy_diff	4.0	4.3
loop,1.1012,radiation_fvm	3.7	4.0
loop,1.151,div._part_1	2.4	2.6
loop,1.672,velocity_flux	2.4	2.6

### Parallelised Routines

Function	Runtimes s		Parallel Percentage
	Serial	OpenMP	
divergence_part_1	37.4	16.8	82.8 
species_advection	9.7	4.6	78.4 
radiation_fvm	9.6	7.3	87.5 
compute_viscosity	7.3	3.4	79.4 
enthalpy_advection	7.0	3.5	69.5 
mass_finite_differences	7.0	3.9	75.7 
velocity_flux	6.7	3.2	97.2 
density_advection	4.8	2.4	65.4 
pressure_solver	4.0	5.0	17.2 
test_filter	2.0	0.6	99.4 
baroclinic_correction	1.8	1.1	99.8 
openmp_check	0.0	0.0	6.0 

- ▶ all changed routines are working fine
- ▶ an adequate parallelisation level in these routines was reached

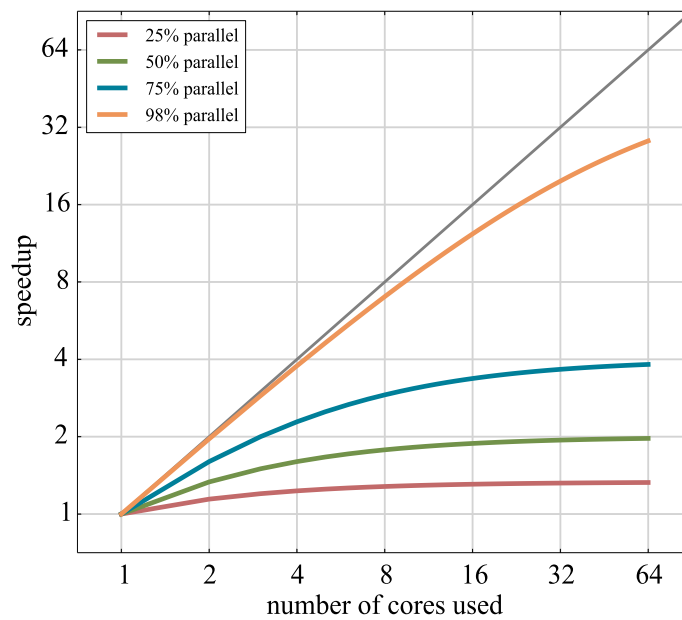
### OpenMP Scaling



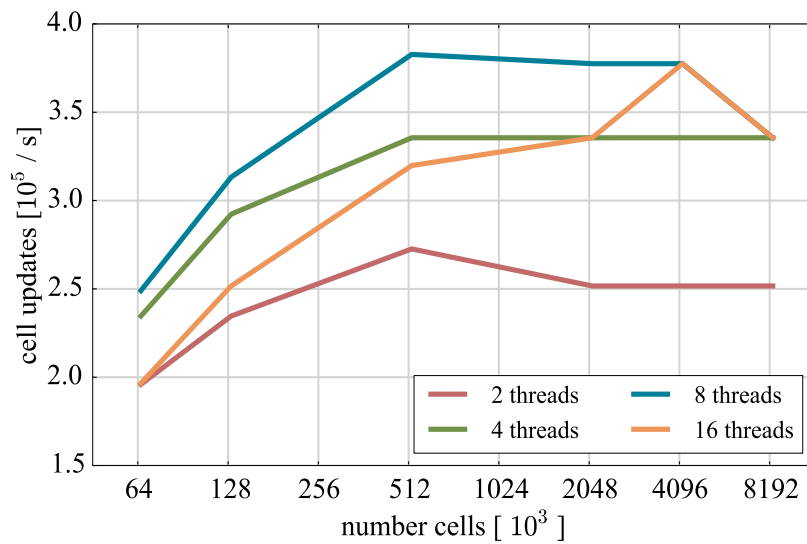
### Overall Parallelisation

Function	Serial		OpenMP (4 threads)		Parallel Percentage
	s	%	s	Parallel Percentage	
MAIN	94.7	100.0	66.5	39.7	<div style="width: 39.7%;"></div>
DIVG	29.5	31.2	15.4	19.9	<div style="width: 19.9%;"></div>
MASS	9.9	10.4	6.7	4.5	<div style="width: 4.5%;"></div>
VELO	16.6	17.5	9.5	9.9	<div style="width: 9.9%;"></div>
PRES	4.0	4.2	5.0	0.0	<div style="width: 0%;"></div>
WALL	3.9	4.1	4.0	0.0	<div style="width: 0%;"></div>
DUMP	6.2	6.6	7.6	0.0	<div style="width: 0%;"></div>
PART	6.8	7.2	6.9	0.0	<div style="width: 0%;"></div>
RADI	12.7	13.4	6.2	9.2	<div style="width: 9.2%;"></div>
FIRE	2.1	2.2	2.1	0.0	<div style="width: 0%;"></div>
COMM	0.0	0.0	0.0	0.0	<div style="width: 0%;"></div>

### Amdahl's Law

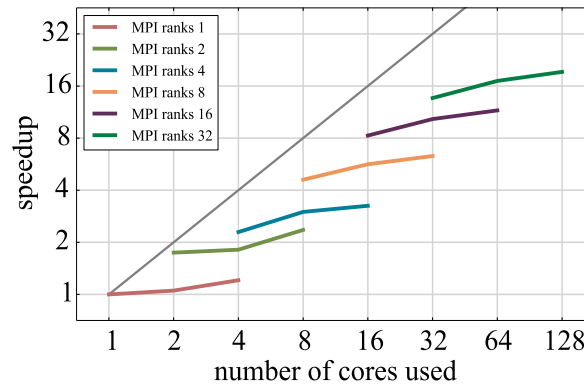
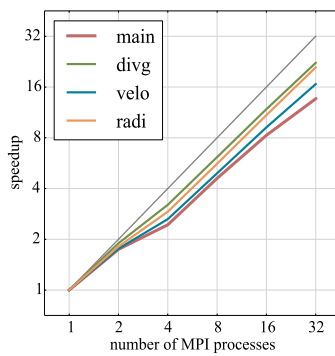


### OpenMP Performance



- ▶ cell updates increase with number of threads used
- ▶ the performance stagnates above the 512k grids
- ▶ memory access performance as potential bottleneck

## Hybrid Scaling



- ▶ MPI offers much greater speedup, w.r.t. the pure OpenMP version
- ▶ hybrid (MPI and OpenMP) use is possible

## Summary

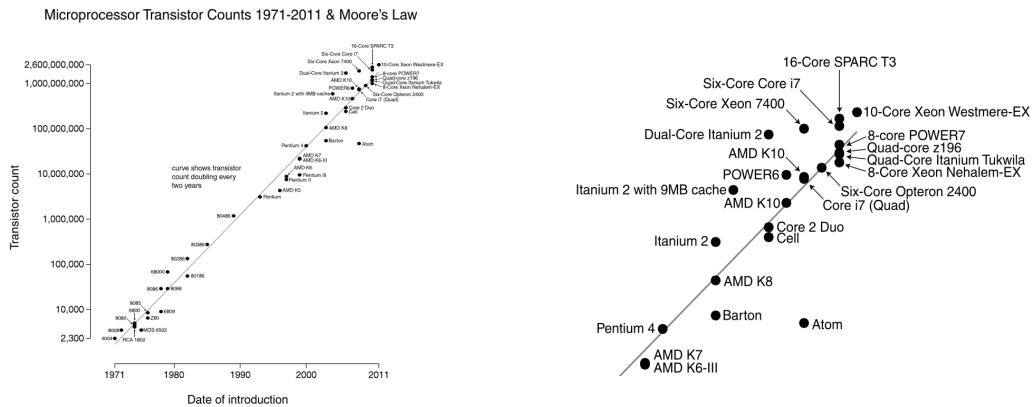
- ▶ easy to use: just by setting `OMP_NUM_THREADS` and if necessary `OMP_STACKSIZE` to achieve a speedup of two on four cores
- ▶ difficult to programm: many pitfalls are only trackable with tools like VTune, algorithmic restructure needed
- ▶ MPI outperforms OpenMP
- ▶ in general: the achieved performance / scaling is bad
- ▶ in the FDS context: it is fine



Questions: Where to go on modern multi- and many-core architectures?

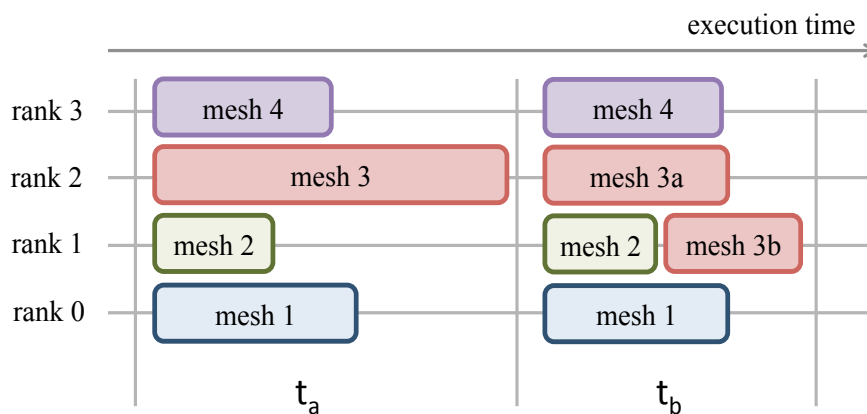
Without effort, it will be hard to effectively utilize modern architectures:

- ▶ CPUs tend to have dozens of cores, Intel Xeon Phi has 60 cores
- ▶ emerging systems require hyperthreading and SIMD



Source: Wikipedia

Question: Why relax the domain decomposition restrictions in FDS?



**Prof. Bjarne Husted:**

**Erfahrungen mit der FDS 6.1.2 OpenMP Version  
im Vergleich zur MPI Version für den »SP Retail Case 2«**

---

# Erfahrungen mit der FDS 6.1.2 OpenMP Version im Vergleich zur MPI Version für den „SP Retail Case 2“

Bjarne Husted  
bjarne.husted@brand.lth.se



## Acknowledgement

- The simulation setup and the figures on grid independence was done by some of our student from Lund University
  - **Daniel Blixt, Jonathan Rosenqvist, Oliver Walsh**



## Background

- An evaluation of the four CFD software; CFX, FDS, SMAFS and SOFIE, have been performed in Sweden in 2008. Comparing with experimental data.
- 5 different setups was used
  - Large room (new exp.)
  - Tunnel (memorial tunnel exp.)
  - Atrium (Yamana-Tanaka exp.)
  - Retail store (new exp.)
  - Room connected to a corridor (new exp.)

### Kvalitetssäkring av olycks- och skadeförebyggande arbete med brandskydd i byggnader

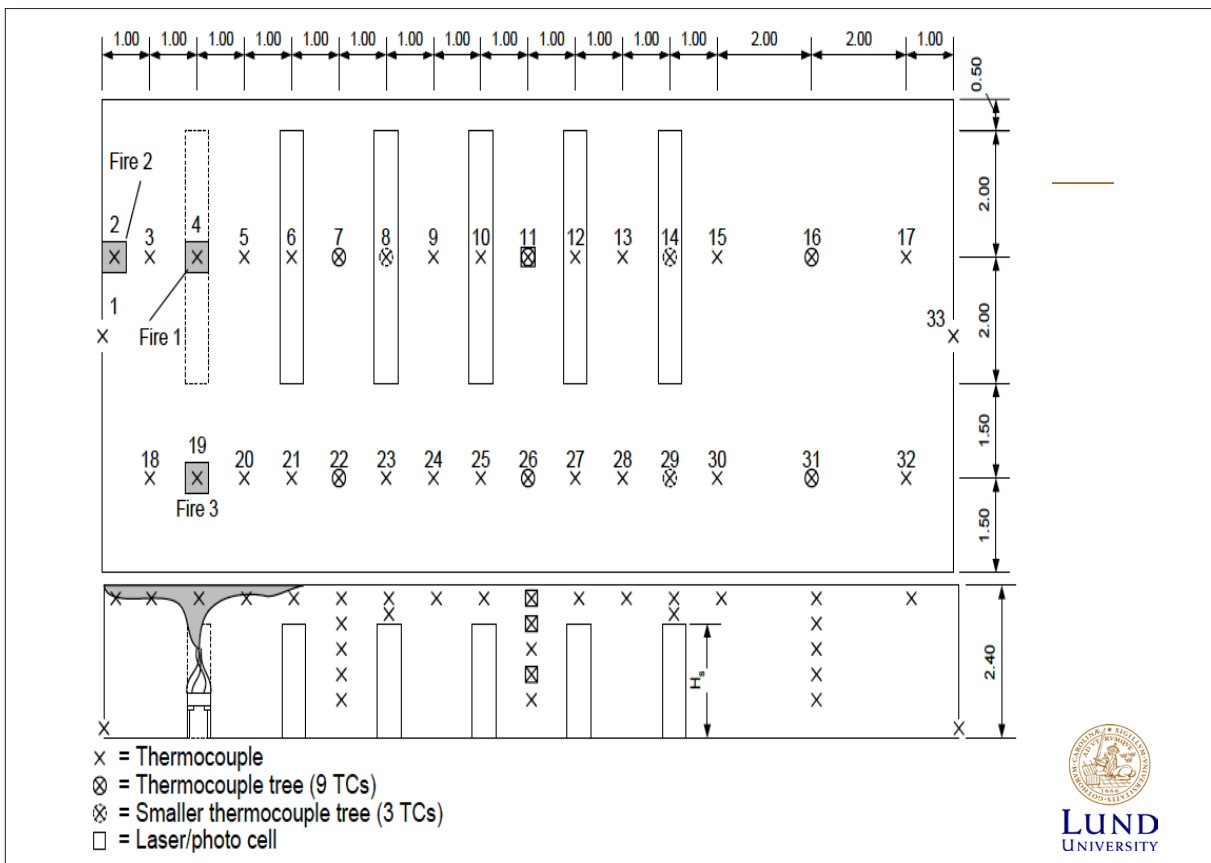
Göran Holmstedt  
Staffan Bengtsson  
Per Blomqvist  
Torkel Dittmer  
Bengt Häggflund  
Heimo Tuovinen  
Patrick van Hees

Department of Fire Safety Engineering  
Lund University, Sweden  
Brandteknik  
Lunds tekniska högskola  
Lunds universitet  
Report 3144 Lund 2008

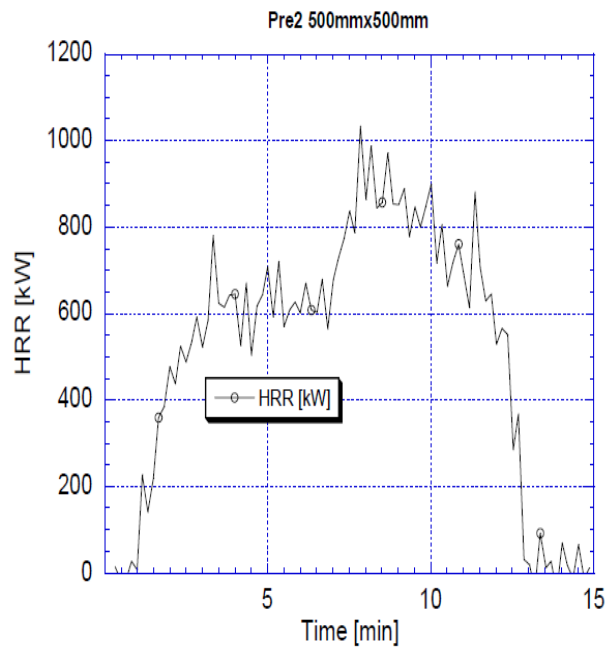


Rapporten har finansierats av Statens Räddningsverk





## Free burning pool fire



## Retail Case 2

---

- The scenario constitutes a large room simulation in scale 1:2
- The room is simulated in the experimental scale and not the real scale
- The room is 18 m x 7.5 m x 2.4 m
- Few boxes where mounted simulating shelves (0.2 m x 4 m x 1.8 m)
- The pool with heptane is positioned 5 cm from the back wall
- Well defined wall materials
  - mainly 10 mm Promatec H on a wooden frame
  - ceiling closest to the fire, 20 mm Roxull insulation



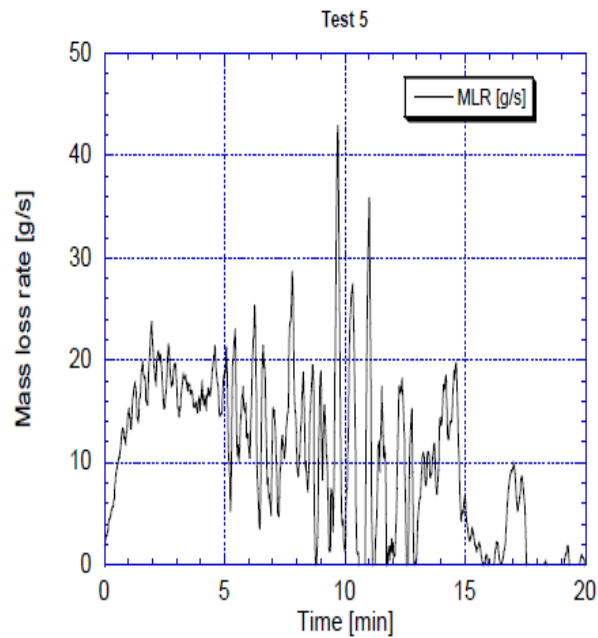
## Uncertainty in experiments

---

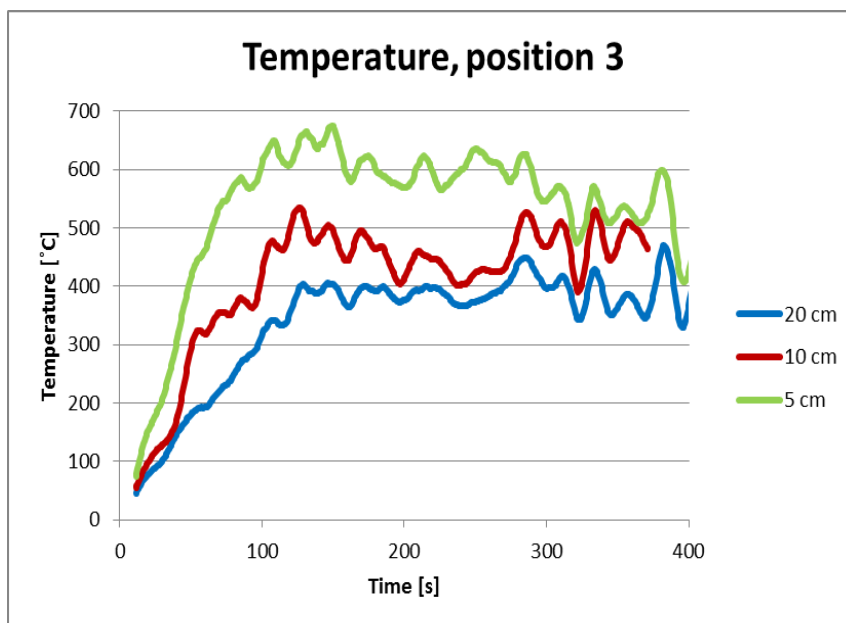
- Temperature measurements – 20%
  - Due to 30% uncertainty in measurement of heat release rate
  - Especially after 5 min into the test
- Repeated test on case 1 showed a different of 20% in temperature measurement



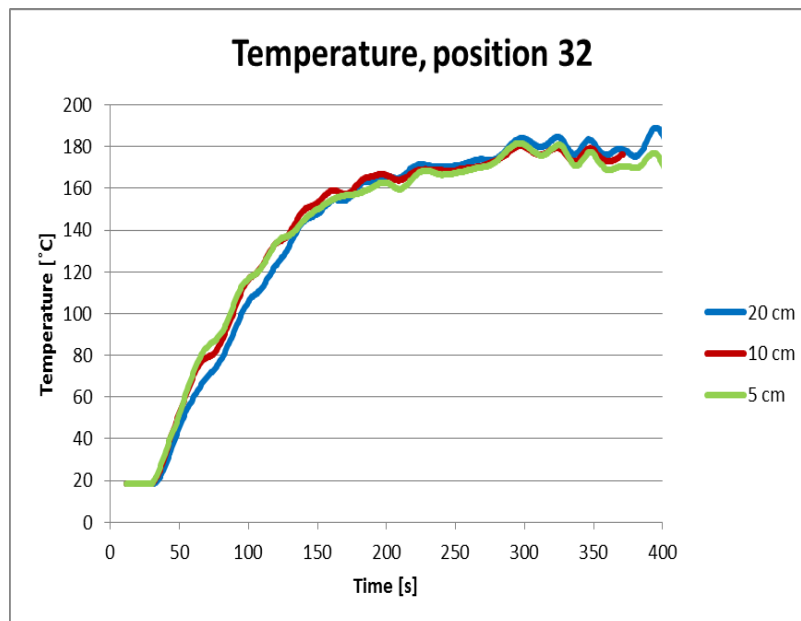
## Mass loss rate for test 2



## Grid independence (close to fire) average 20 s



## Grid independence (far from fire) average 20 s



## Alarik cluster 208 nodes containing two 64-bit, 8-core AMD6220 (3.0 GHz)



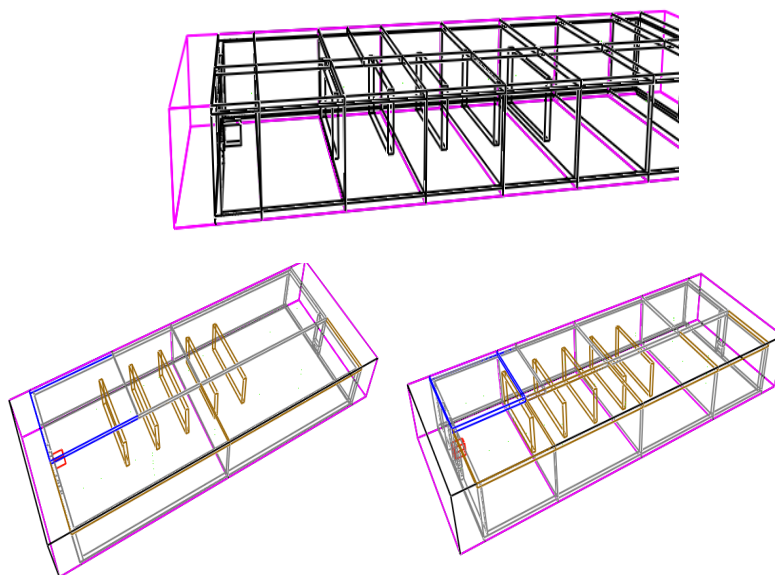
## Grid independence

	20 cm	10 cm	5 cm
D*/dx	15,3	7,6	3,8
Number of cells	56784	454272	3634176

- In the following simulations:
  - 10 cm grid
  - Total number of cells: 454272

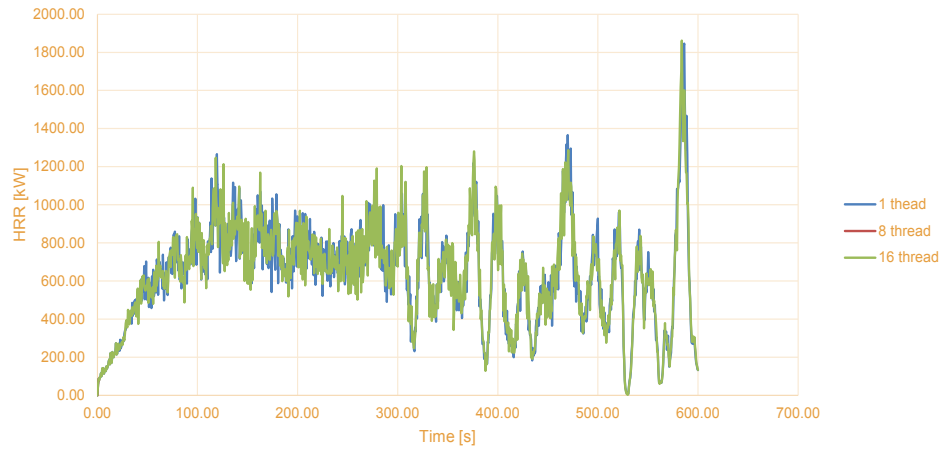


## Different grids used in the simulation for MPI



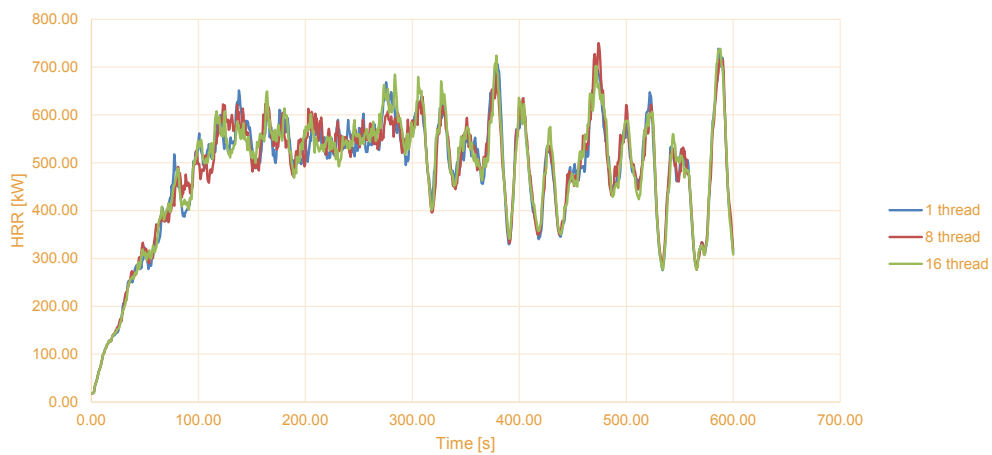


## Heat release rate (OpenMP)



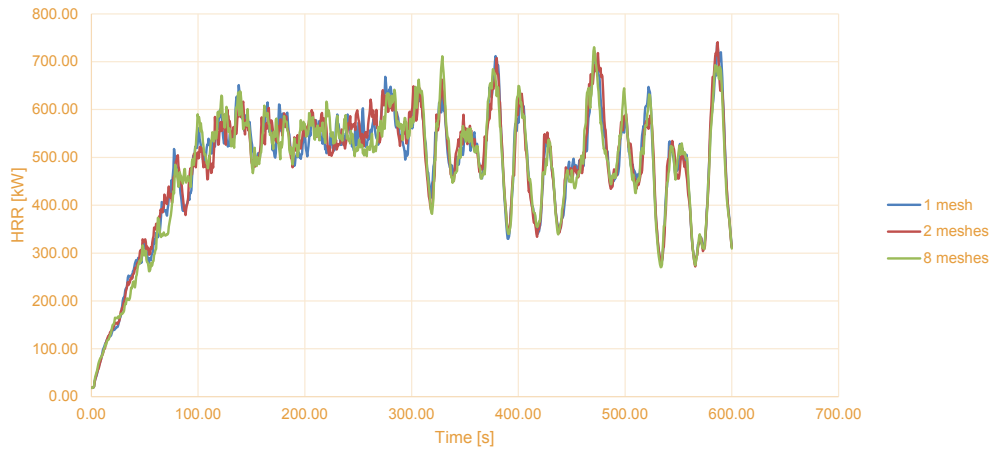
LUND  
UNIVERSITY

## OpenMP Temperature in position 3

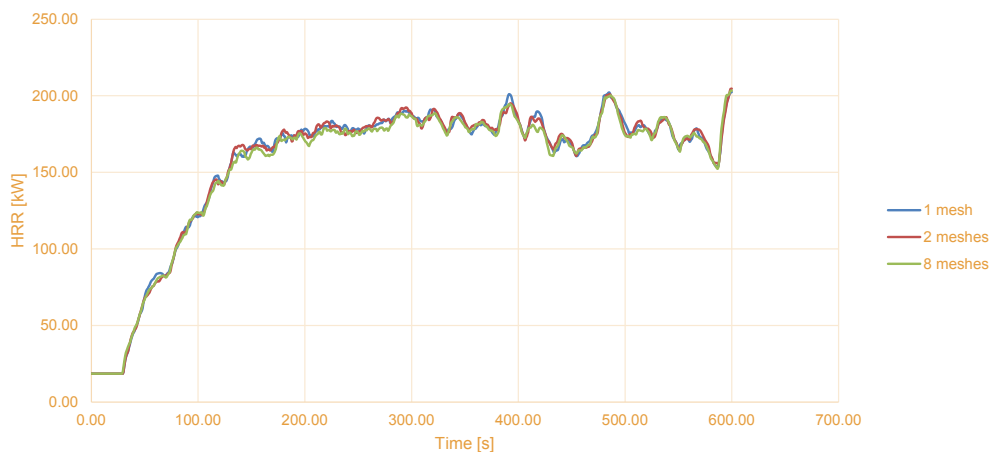


LUND  
UNIVERSITY

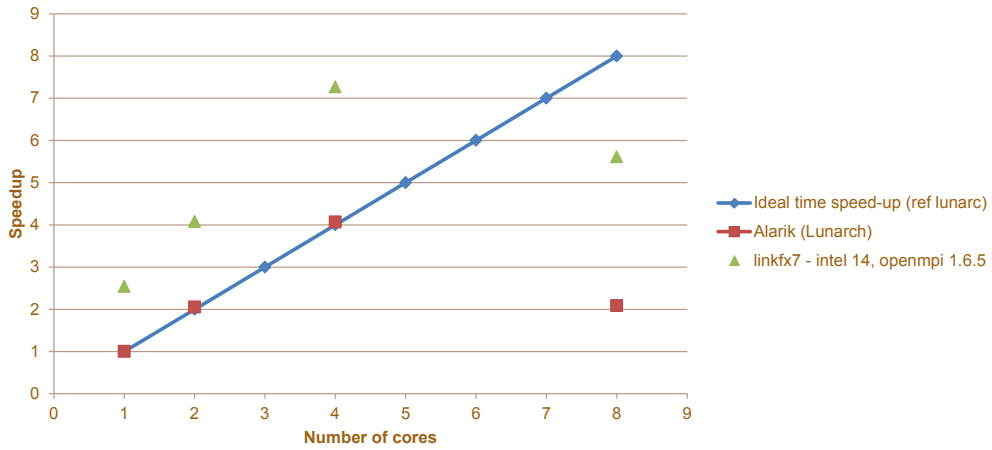
## MPI Temperature in position 3



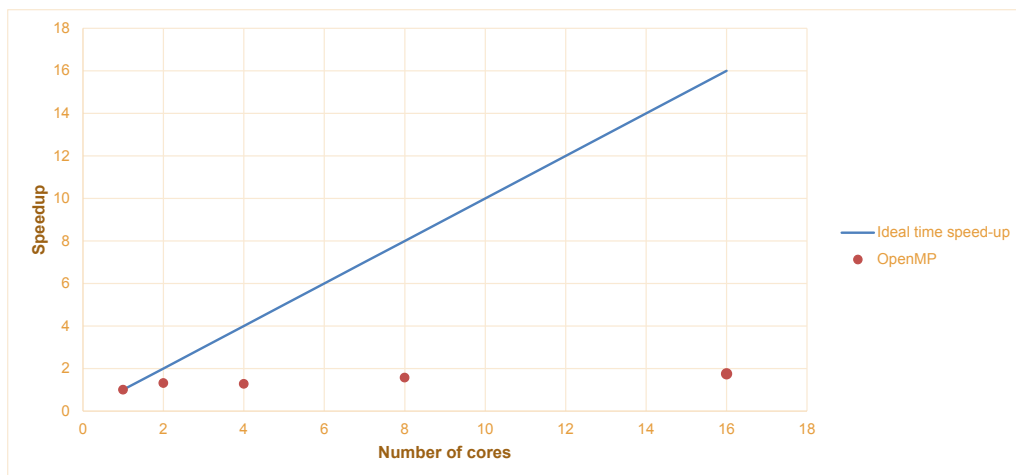
## MPI Temperature in position 32



## Speedup MPI



## OpenMP speedup



## Conclusion

---

- OpenMP only gives a limited speedup, less than factor of 2
- The current case shows that the MPI is more efficient for achieving fast simulations
- Based on the findings from the SP retails case 2
  - No loss of accuracy of results due to increased number of meshed
- You do not need a fancy cluster to run FDS. It scales badly and a good pc with 2 fasts cpu (Intel) will do fine



**LUND**  
UNIVERSITY

**Dr. Susanne Kilian**

**FDS6 - Laufzeiten und Benchmarking.**

FDS6 -  
Laufzeiten und Benchmarking

Dr. Susanne Kilian  
hhpberlin - Ingenieure für Brandschutz  
10245 Berlin - Germany

hhpberlin 

## Inhalt

- 1  
Längere Laufzeiten in FDS6
- 2  
Laufzeit-Benchmark 'empty\_box'
- 3  
MPI unter Windows

Next Generation Fire Engineering

hhpberlin 

## Längere Laufzeiten in FDS6

Gründe und Vergleiche

Next Generation Fire Engineering

hhpberlin 

## Historie der FDS-Versionen

### ➤ 6-jährige Nutzungszeit von FDS5

- Version 5.0.0: Oktober 2007
- Version 5.5.3: Oktober 2010

26 Unterversionen 5.x.y

### ➤ Lang erwartete Version FDS6

- Version 6.0.0: November 2013
- Version 6.1.2: seit September 2014

4 FDS6-Beta-Versionen



Next Generation Fire Engineering

hhpberlin 

1

Längere  
Laufzeiten in  
FDS6

## Neue Version FDS6

### ➤ Zielsetzung

- Nachhaltige Verbesserung der Robustheit und Genauigkeit der Simulationsergebnisse
- Randy McDermott „A giant step toward convergent code“

### ➤ Vorgehensweise

- Grundlegende Überarbeitung des gesamten Programms
- Austausch wesentlicher Code-Bestandteile

### ➤ Auswirkungen

- Verbesserte Modellierung und Numerik für viele Komponenten
- Deutlich erhöhter Bedarf an Rechenzeit und Speicherplatz im Vergleich zu FDS5

Next Generation Fire Engineering

hhpberlin 

1

Längere  
Laufzeiten in  
FDS6

## Laufzeitvergleich FDS6 versus FDS5

### ➤ Laufzeit von FDS6 mindestens um Faktor 2 höher

- leistungsfähigere und komplexere Verfahrenskomponenten  
→ erhöhter Aufwand pro Zeitschritt
- im Verhältnis zu FDS5 zumeist kleinere Zeitschrittweiten  
→ mehr Zeitschritte

### ➤ Mögliche Kompensation

- standardmäßige Verwendung von OpenMP
- mögliche Reduktion der Laufzeit bis hin zu Faktor 2  
→ erhöhter Bedarf an Ressourcen

Next Generation Fire Engineering



hhpberlin 

## Hydrodynamik und Turbulenz

### ➤ Neues Transportschema Total Variation Diminishing (TVD)

- ehemalige zentrale Differenzen können unphysikalische Resultate liefern
- jetzt Verwendung von Upwinding-Techniken inkl. Flux-Limiter  
→ Über-/Unterschätzen im Bereich starker Gradienten wird vermieden
- Kombination mit einer temperaturabhängigen spezifischen Wärmekapazität  
→ zusätzlicher Korrektur-Term in der Divergenz-Formulierung erforderlich (zur Gewährleistung der Energie-Erhaltung)

Next Generation Fire Engineering

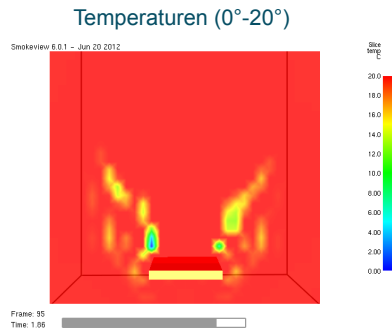
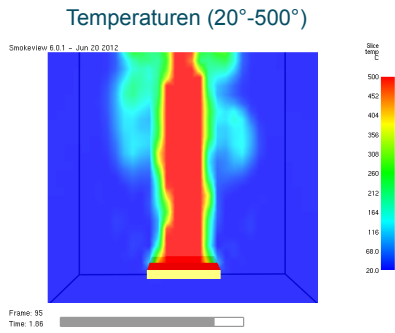


hhpberlin 



## Hydrodynamik und Turbulenz

➤ **FDS5:** Validation-Case Heskestad\_Flame\_Height,  $Q^*=1$



➔ **FDS5:** Unphysikalische Temperaturen deutlich unter Umgebungstemperatur!

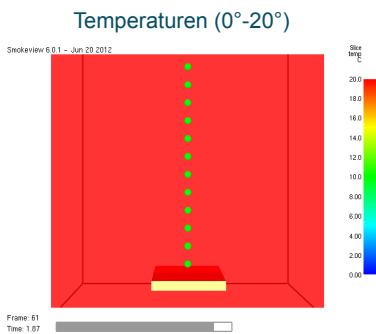
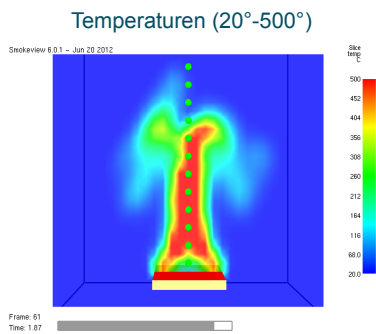
Next Generation Fire Engineering

hhpberlin 

1  
Längere  
Laufzeiten in  
FDS6

## Hydrodynamik und Turbulenz

➤ **FDS6:** Validation-Case Heskestad\_Flame\_Height,  $Q^*=1$



➔ **FDS6:** Keine unphysikalischen Ausreißer mehr!

Next Generation Fire Engineering

hhpberlin 

1  
Längere  
Laufzeiten in  
FDS6

## Hydrodynamik und Turbulenz

- Dynamische Modellierung der turbulenten Viskosität
    - bisheriges konstantes Smagorinski-Modell nicht konvergent (sehr dissipativ, modellierter Termin verschwindet nicht bei Verfeinerung hin zu DNS)
    - Berechnung der Viskosität nun 2x pro Zeitschritt im Gegensatz zu 1x in FDS5 (ansonsten unterschiedliche Energiespektren)
  - Neue Wandfunktionen für turbulenten Impuls- und Wärmetransfer
  - Auflösung turbulenter Randbedingungen
  - Standardmäßige Behandlung des baroklinen Effektes
- erhöhter Aufwand pro Zeitschritt und häufig kleinere Zeitschritte

Next Generation Fire Engineering



hhpberlin 

## Spezies und Verbrennung

- Einführung komplett neuer Spezies-Datenstrukturen
    - nutzerdefinierte Mischungen von Spezies möglich („lumped species“)
    - Spezies werden nun als temperaturabhängig angenommen
    - erweiterte Möglichkeiten des ‚Spezies Tracking‘ (z.B. Transport von Toxinen)
  - Überarbeitung und Erweiterung der Verbrennungsroutine
    - neue Behandlung turbulenter Verbrennung
  - Überarbeitung der Tropfen-Routinen
    - ehemalige Behandlung war nicht energieerhaltend
    - Strahlungseigenschaften von Tropfen können nun spezifiziert werden
- erhöhter Aufwand pro Zeitschritt

Next Generation Fire Engineering



hhpberlin 

## Weitere Änderungen in FDS6

- Standardmäßige Iteration des Druckes
  - entlang innerer Meshgrenzen (zur Angleichung der Meshes)
  - entlang solider Ränder (no-flux-Randbedingung)
- Erweiterung der HVAC- und CTRL Funktionalitäten
  - Hinzunahme diverser Filter-, Lüftungs-, Heizungs-, Kühlungseffekte
  - Hinzunahme diverser mathematischer Operationen
- Erweiterung der RadCal Datenbank
  - größere Bibliothek für die Strahlungseigenschaften von Gasen und Rauch

→ erhöhter Aufwand pro Zeitschritt

Next Generation Fire Engineering



hhpberlin 

## Vorschläge zur Zeiteinsparung

- Verwendung einer leicht vergrößerter Gitterweite
  - neues dynamisches Turbulenzmodell liefert ähnliche Resultate wie das alte konstante Modell (sehr dissipativ) bereits für leicht weniger verfeinerte Gitter.
- Ausschalten der Radiation-Berechnung
  - &RADI RADIATION=.FALSE.
  - wenn Wärmeströme in die Umgebung nicht interessieren (kleines Feuer in großem Raum)
- Ausschalten der Stratification-Berechnung
  - &MISC CONSTANT\_SPECIFIC\_HEAT\_RATIO=TRUE., STRATIFICATION=.FALSE.

Next Generation Fire Engineering

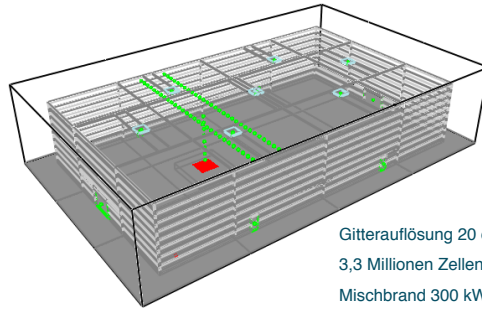


hhpberlin 

## Beispiel: Verrauchung einer Halle

### ➤ Rechnungen mit verschiedenen FDS-Varianten

- FDS5
- FDS6
- FDS6 ohne Radiation
- FDS6 ohne Stratification
- FDS6 ohne Stratification, ohne Radiation



### ➤ Vergleich

- Slices: Temperatur, optische Dichte
- Devices: Plume-Temperatur, Temperatur und Volume Flow an RWA in Brandherdnähe
- Laufzeiten (ohne und mit OpenMP)

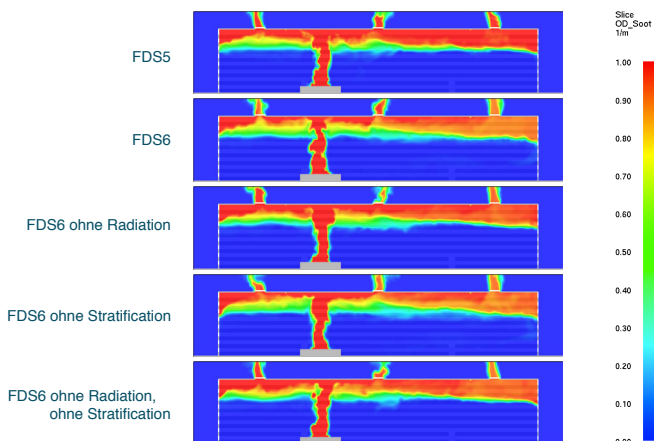
Next Generation Fire Engineering

1  
Längere Laufzeiten in FDS6

hhpberlin

## Beispiel: Verrauchung einer Halle

### ➤ Slice „OPTICAL DENSITY“, T=500

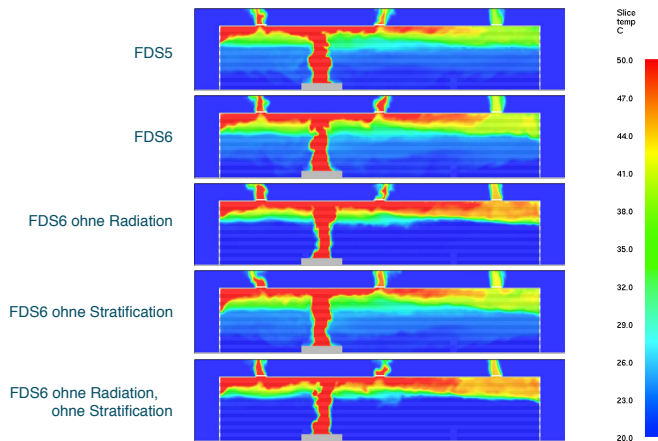


1  
Längere Laufzeiten in FDS6

hhpberlin

## Beispiel: Verrauchung einer Halle

➤ Slice „TEMPERATURE“, T=500

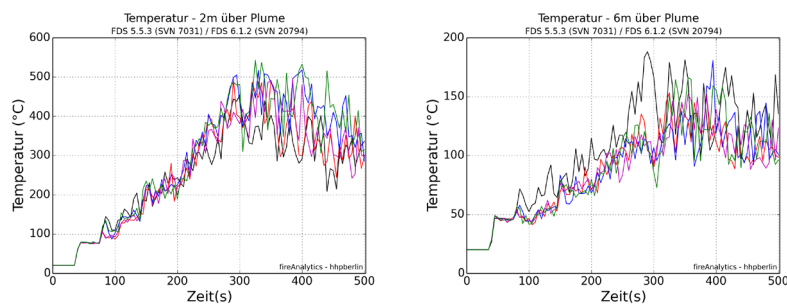


1  
Längere  
Laufzeiten in  
FDS6

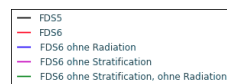


## Beispiel: Verrauchung einer Halle

➤ Devices „TEMPERATURE“ oberhalb des Plumes



1  
Längere  
Laufzeiten in  
FDS6

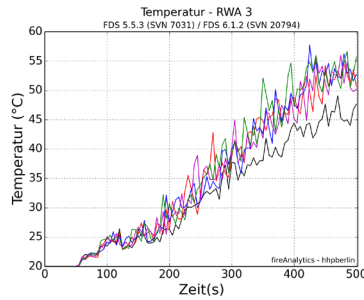
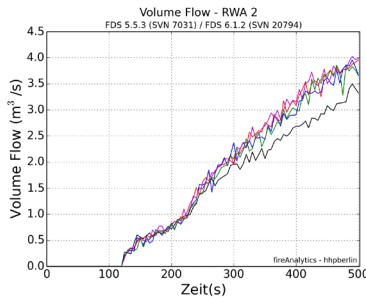


➤ Unterschiede zu FDS5 erkennbar, FDS6-Varianten zumindest ähnlich



## Beispiel: Verrauchung einer Halle

➤ Devices „VOLUME FLOW“ und „TEMPERATURE“ in RWAs



1  
Längere Laufzeiten in FDS6

— FDS5  
— FDS6  
— FDS6 ohne Radiation  
— FDS6 ohne Stratification  
— FDS6 ohne Stratification, ohne Radiation

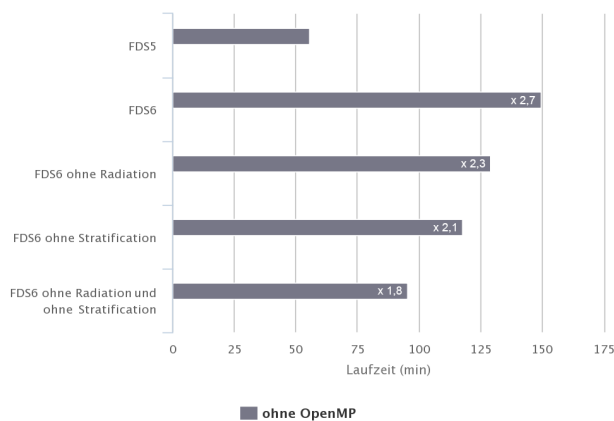
➤ Unterschiede zu FDS5 erkennbar, FDS6-Varianten ähnlich

Next Generation Fire Engineering

hhpberlin

## Beispiel: Verrauchung einer Halle

➤ Rechnungen mit verschiedenen FDS-Varianten (ohne/mit OpenMP)



Große Unterschiede für die FDS6-Varianten

1  
Längere Laufzeiten in FDS6

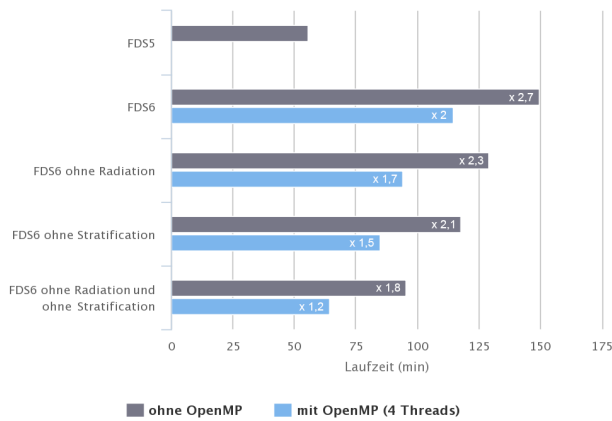
Next Generation Fire Engineering

fireAnalytics - hhpberlin

hhpberlin

## Beispiel: Verrauchung einer Halle

➤ Rechnungen mit verschiedenen FDS-Varianten (ohne OpenMP)



Verwendung von OpenMP bringt Reduktion der Rechenzeit um etwa 30 %

1  
Längere Laufzeiten in FDS6

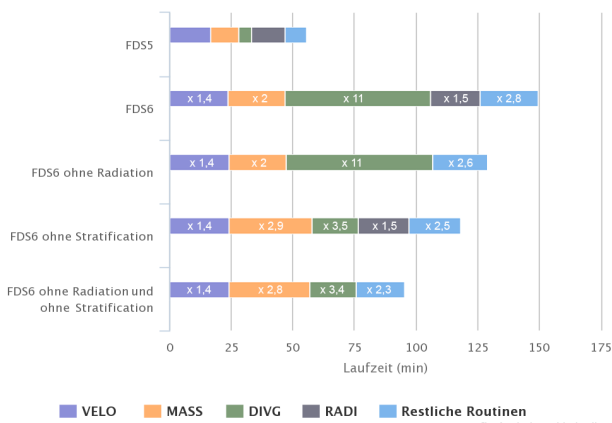
Next Generation Fire Engineering

fireAnalytics - hhpberlin

hhpberlin

## Beispiel: Verrauchung einer Halle

➤ Rechnungen mit verschiedenen FDS-Varianten (ohne OpenMP)



**Deutlicher Anstieg:**

für Divergenz-Routine (vor allem mit Stratifikation) !!

für Massen- und Spezies-Transport

für die Berechnung der Geschwindigkeitsfelder und des Strahlungstransports

1  
Längere Laufzeiten in FDS6

Next Generation Fire Engineering

fireAnalytics - hhpberlin

hhpberlin

## Zusammenfassung Laufzeitvergleich

### ➤ FDS6 benötigt deutlich länger für den Testfall als FDS5

- ohne OpenMP: 2,7 bis 1,8-mal länger je nach Variante
- mit OpenMP: 2.0 bis 1.2-mal länger je nach Variante

### ➤ Tipps zur Zeiteinsparung können praktikabel sein

- keine generelle Empfehlung !!!
- muss unbedingt im Einzelfall abgewogen werden !!!

### ➤ deutliche Einsparung durch OpenMP möglich

- Ausmaß hängt von verwendeten Komponenten ab

Next Generation Fire Engineering

hhpberlin 



Laufzeit-Benchmark ,empty\_box'

Next Generation Fire Engineering

hhpberlin 



## Möglichkeiten der Parallelisierung



- Parallelisierung mit verteiltem Speicher: **MPI**
  - Zuordnung einzelner Meshes zu verschiedenen Rechenknoten/-kernen
  - unabhängige Speicherbereiche (explizites Versenden von Daten nötig)
  - potentiell sehr hohe Skalierungsmöglichkeiten
  
- Parallelisierung mit gemeinsamem Speicher: **OpenMP**
  - Nutzung der einzelnen Kerne/Threads EINES Rechenknotens
  - ein gemeinsamer Speicherbereich
  - beschränkt durch Architektur des Rechenknotens

➔ **Hybrid-Variante aus MPI und OpenMP möglich**

Next Generation Fire Engineering



## Leistungsbewertung der Parallelisierung



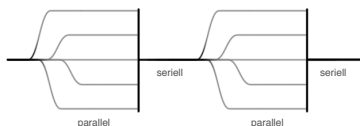
- Leistungsbewertung: **Speedup**

$$S = \frac{T_1}{T_P}$$

**Idealfall:**  
Speedup von P bei Verwendung von P Prozessoren !

$T_1$  : Ausführungszeit auf 1 Prozessor  
 $T_P$  : Ausführungszeit auf P Prozessoren

- Wechselspiel aus seriellen und parallelen Anteilen



**Problem:**  
Serieller Anteil bestimmt maximal erzielbaren Speedup

Next Generation Fire Engineering



## Konzeption eines FDS-Laufzeit-Benchmarks

### ➤ Frage: Wie skaliert eine FDS-Anwendung mit der Anzahl

- an Meshes (MPI) und/oder
- Threads (OpenMP)?

### ➤ Neuer Verification-Test in Absprache mit Kevin McGrattan

- einfacher leerer Kubus „**empty\_box**“, der NICHTS tut
- standardmäßig werden aber die Hauptroutinen aufgerufen (Strahlungs- und Drucklöser, Spezies-Transport, etc.)
- es werden immer genau 100 Zeitschritte durchgeführt
- es wird nahezu kein Output erzeugt

→ unabhängig von Änderungen in FDS (bzgl. Zeitschrittweiten-Kriterien, ...)

Next Generation Fire Engineering



hhpberlin 

## Starke Skalierbarkeit

### ➤ Frage

Wie reduziert sich die Laufzeit für eine feste Problemgröße  $N$ , wenn die Anzahl der Prozessoren  $P$  erhöht wird?

→ Gesamtgröße des Problems konstant, Größe pro Prozessor nimmt ab

### ➤ Beispiel

Ein Arbeiter hebt in einer Stunde ein Loch von  $1 \text{ m}^3$  aus, wie lange brauchen dann 100 Arbeiter für dieselbe Arbeit?

### ➤ Erkenntnis

Erreichbarer Speedup hängt auch von der Problemgröße ab!

Next Generation Fire Engineering

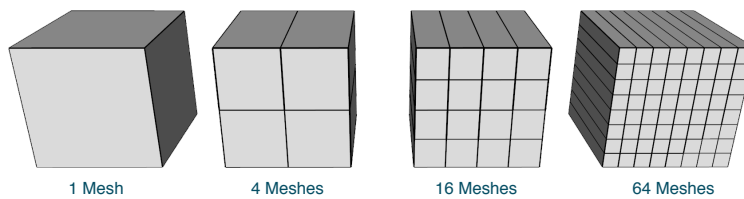


hhpberlin 

## Starke Skalierbarkeit „empty\_box“

➤ Geometrie mit fester Zell-Anzahl:  $N^3$ ,  $N=64$ , 128

→ gleicher Würfel wird in immer mehr Meshes zerlegt



Next Generation Fire Engineering

2  
Laufzeit-  
Benchmark  
'empty-box'

bis zu rund 2 Millionen  
Zellen gesamt

hhpberlin 

## Starke Skalierbarkeit „empty\_box“

### ➤ Problem

- Je mehr Prozessoren verwendet werden, desto weniger hat der einzelne Prozessor zu tun
- Kommunikations- und Synchronisations-Aufwand fallen immer mehr ins Gewicht
- Verhältnis zwischen Rechenleistung und Kommunikation wird immer ungünstiger
- Speedup wird mit wachsender Prozessorzahl immer geringer

### ➤ Abhilfe

- Problemgröße wird entsprechend mit skaliert
- mehr Prozessoren rechnen immer größere Probleme

Next Generation Fire Engineering

2  
Laufzeit-  
Benchmark  
'empty-box'

hhpberlin 

## Schwache Skalierbarkeit

### ➤ Frage

Wie reduziert sich die Laufzeit für eine wachsende Problemgröße  $N$ , wenn die Anzahl der Prozessoren  $P$  proportional dazu erhöht wird?

→ Gesamtgröße des Problems skaliert, Größe pro Prozessor konstant

### ➤ Beispiel

Wenn jeder Arbeiter in einer Stunde ein Loch von  $1 \text{ m}^3$  aushebt, dann schaffen 100 Arbeiter fast die 100-fache Größe

### ➤ Skalierter Speedup

Um wieviel kann die Problemgröße auf dem Parallelrechner erhöht werden, um eine vergleichbare Rechenzeit wie im seriellen Fall zu erzielen?

Next Generation Fire Engineering

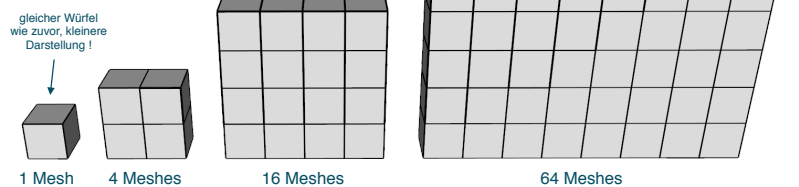


hhpberlin

## Schwache Skalierbarkeit „empty\_box“

### ➤ Geometrie mit wachsender Zell-Anzahl: $P \times N^3$ , $N=64, 128$

→ immer mehr Würfel werden zusammengefügt



Next Generation Fire Engineering

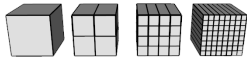


bis zu rund 134 Millionen Zellen gesamt

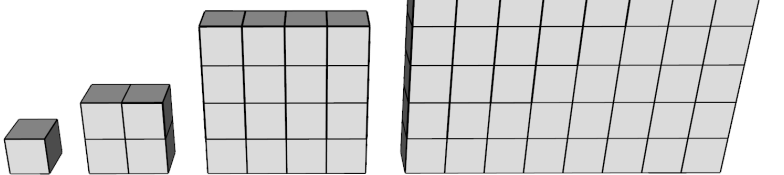
hhpberlin

## Größenvergleich „empty\_box“

➤ starke Skalierbarkeit:



➤ schwache Skalierbarkeit:



Next Generation Fire Engineering

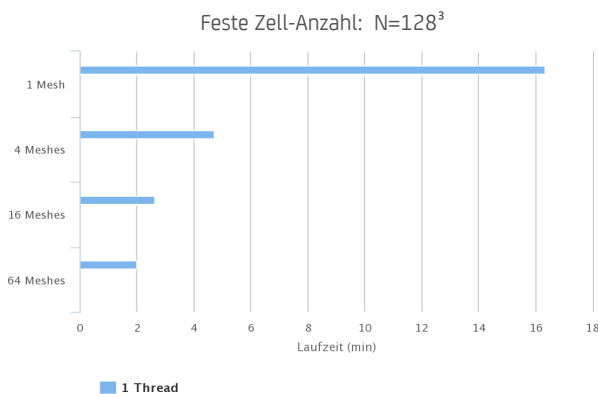
2

Laufzeit-  
Benchmark  
'empty-box'

hhpberlin

## Starke Skalierbarkeit „empty-box“

➤ **reiner MPI-Test:** Wachsende Anzahl an Meshes mit je 1 Thread



# Meshes	Speedup
4	3.46
16	6.21
<b>64</b>	<b>8.25</b>

Vergleich mit blauer Linie 1 Mesh !



Guter Speedup nur für 4 Meshes

fireAnalytics - hhpberlin

Next Generation Fire Engineering

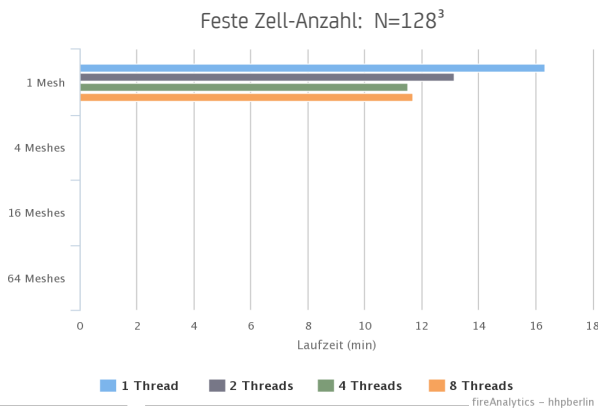
2

Laufzeit-  
Benchmark  
'empty-box'

hhpberlin

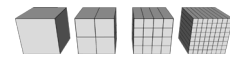
## Starke Skalierbarkeit „empty-box“

➤ **reiner OpenMP-Test: 1 Mesh mit wachsender Anzahl an Threads**



# Threads	Speedup
2	1.24
<b>4</b>	<b>1.41</b>
8	1.39

Vergleich mit blauer Linie 1 Mesh!



Höchster Speedup für 4 Threads



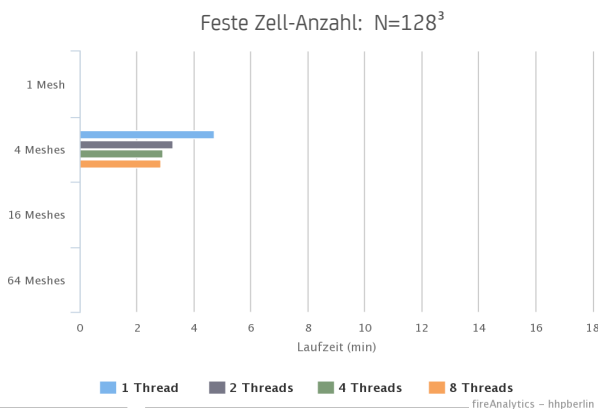
Next Generation Fire Engineering

2

Laufzeit-Benchmark „empty-box“

## Starke Skalierbarkeit „empty-box“

➤ **reiner OpenMP-Test: 4 Meshes mit wachsender Anzahl an Threads**



# Threads	Speedup
2	1.45
4	1.62
<b>8</b>	<b>1.66</b>

Vergleich mit blauer Linie 4 Meshes!



Höchster Speedup für 8 Threads



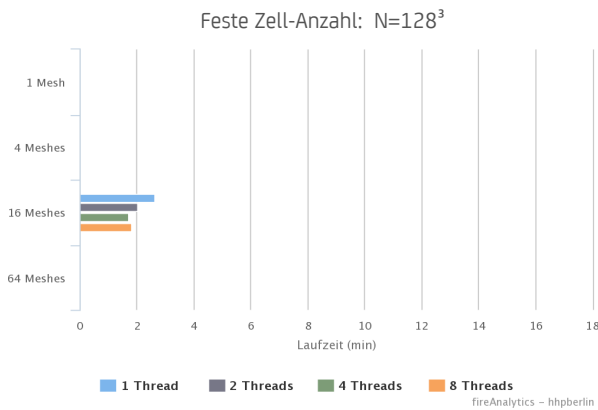
Next Generation Fire Engineering

2

Laufzeit-Benchmark „empty-box“

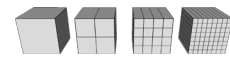
## Starke Skalierbarkeit „empty-box“

➤ **reiner OpenMP-Test:** 16 Mesh mit wachsender Anzahl an Threads



# Threads	Speedup
2	1.30
4	1.54
8	1.46

Vergleich mit blauer Linie 16 Meshes!



Höchster Speedup für 4 Threads

Next Generation Fire Engineering

fireAnalytics - hhpberlin

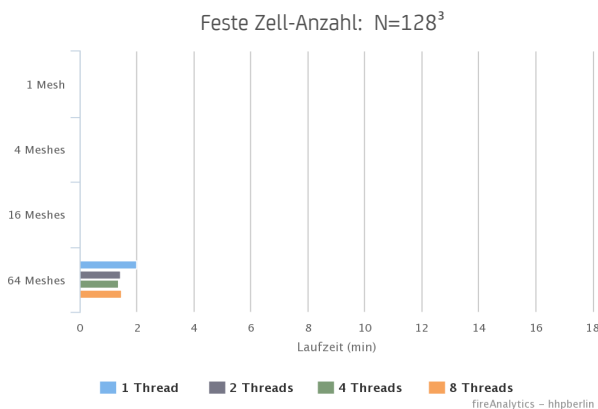


2

Laufzeit-Benchmark „empty-box“

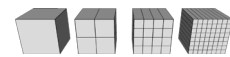
## Starke Skalierbarkeit „empty-box“

➤ **reiner OpenMP-Test:** 64 Mesh mit wachsender Anzahl an Threads



# Threads	Speedup
2	1.38
4	1.45
8	1.36

Vergleich mit blauer Linie 64 Meshes!



Höchster Speedup für 4 Threads

Next Generation Fire Engineering

fireAnalytics - hhpberlin

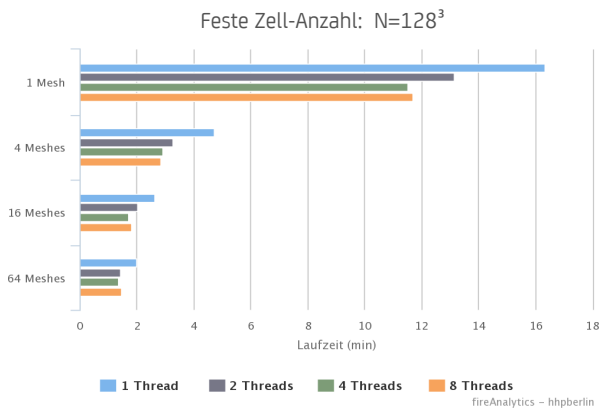


2

Laufzeit-Benchmark „empty-box“

## Starke Skalierbarkeit „empty-box“

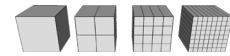
➤ **voller MPI-OpenMP-Test:** Wachsende Mesh- und Thread-Anzahl



Maximal erreichbarer Speedup mit allen Meshes und Threads:

$$S_{\max} = 12.02$$

Vergleich aller mit blauer Linie 1 Mesh!



Keine gute Ausbeute der eingesetzten Ressourcen!

Next Generation Fire Engineering

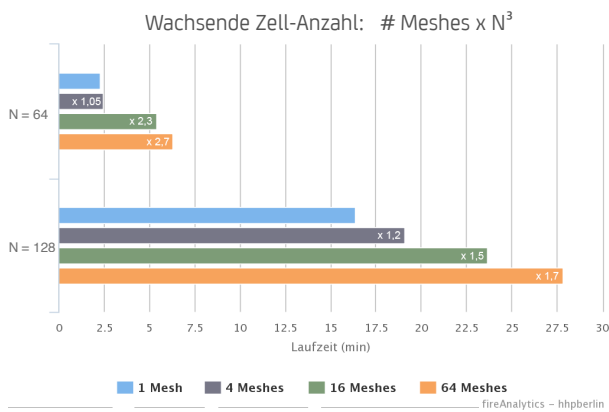


2

Laufzeit-Benchmark „empty-box“

## Schwache Skalierbarkeit „empty-box“

➤ **reiner MPI-Test:** Wachsende Anzahl an Meshes mit je 1 Thread

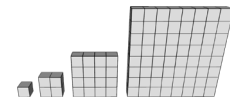


Skalierbarkeit besser für feinere Gitterweite

Bessere Ausbeute der Prozessorleistung

Nahezu optimal für 4 Meshes

Optimale Effizienz bei einem Faktor 1!



Next Generation Fire Engineering



2

Laufzeit-Benchmark „empty-box“



## Schlussfolgerung Laufzeit-Benchmark

### ➤ Starke Skalierbarkeit

- Verwendung immer höherer Ressourcen für gleichbleibende Problemgröße nicht sinnvoll
- Auslastung der einzelnen Kerne wird immer ungünstiger
- Verhältnis Kommunikations- zu Rechenzeit wird immer ungünstiger (rechnerabhängig!)

### ➤ Schwache Skalierbarkeit

- keine optimale, aber gute Skalierbarkeit, wenn Problemgröße mitwächst
- höchster Zugewinn, wenn Prozessoren möglichst gut ausgelastet sind
- Anzahl von Meshes/Threads sollte im Hinblick auf Gitterweite optimiert werden (rechnerabhängig!)

→ Weitere Untersuchungen zur Analyse günstiger Verhältnisse geplant

Next Generation Fire Engineering

3  
Numerical  
accuracy and  
scalability tests

hhpberlin 

Intel MPI für Windows

Next Generation Fire Engineering

hhpberlin 

## Verschiedene MPI-Versionen für FDS

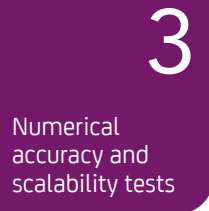
- Verwendung von **Open MPI** für Linux und Mac OS
- entweder Installation von offizieller Open MPI Download-Seite
  - oder Installation über vorkompilierte Binaries auf der NIST Download-Seite

- Verwendung von **Intel MPI** für Windows (seit Version 6.1.2)
- zuvor Verwendung von MPICH, für das kein weiterer Support mehr geleistet wird
  - Installation des FDS-Paketes auf allen Rechnern im Netzwerk
  - Keine separate Installation von MPI erforderlich!
  - notwendige Komponenten (mpiexec.exe und Bibliotheken werden mitgeliefert)

### Frage der Hauptentwickler:

Wer hat die Intel MPI-Version für Windows bereits ausprobiert?

Next Generation Fire Engineering



hhpberlin 

## Prozess-Manager für Intel MPI

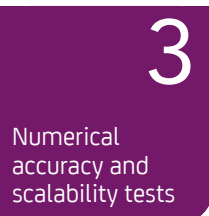
- ältere Version: `smpd.exe`
- diese wird mit dem FDS-Windows-Paket mitgeliefert
  - Jobstart mit `mpiexec.smpd.exe` (wurde nach `mpiexec.exe` kopiert)
  - MPICH benutzte denselben Namen, aber ist damit vermutlich nicht kompatibel

- neuere Version: `hydra_service.exe`
- konnte von Hauptentwicklern noch nicht ans Laufen gebracht werden
  - Jobstart mit `mpiexec.hydra.exe` (leistungsfähiger/besser skalierbar)
  - Intel bevorzugt hydra (Dokumentation nur noch darauf bezogen)

### Frage der Hauptentwickler:

Hat jemand bereits Erfahrungen mit hydra gesammelt?

Next Generation Fire Engineering



hhpberlin 



hhpberlin  
Ingenieure für Brandschutz GmbH

Hauptsitz  
Rotherstraße 19 · 10245 Berlin

Amtsgericht  
Berlin-Charlottenburg  
Register-Nr.: HRB 78 927  
Ust-ID Nr.: DE217656065

Geschäftsführung:  
Dipl.-Ing. Karsten Foth  
Dipl.-Inf. BW [VWA] Stefan Truthän

Beirat:  
Dipl.-Ing. Margot Ehrlicher  
Prof. Dr.-Ing. Dietmar Hossler  
Dr.-Ing. Karl-Heinz Schubert

**Prof. Dr. Jochen Zehfuß und Matthias Siemon**

Integration und Anwendung eines 3D-Wärmeleitungsmodells in FDS6.

The slide features a background of intense orange and yellow flames against a black backdrop. In the top left corner, there is a red rectangular box containing the logo of Technische Universität Braunschweig, which includes a circular emblem with a lion and the text 'CAROLO-WILHELMINA BRAUNSCHWEIG' and 'Technische Universität Braunschweig'. In the top right corner, the logo for 'iBMB MPA TU BRAUNSCHWEIG' is displayed. The main title 'Integration und Anwendung eines 3D-Wärmeleitungsmodells in FDS6' is centered in large white font. Below the title, the names 'Prof. Dr.-Ing. J. Zehfuß' and 'Dipl.-Ing. M. Siemon' are listed. Further down, the affiliation 'Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz Technische Universität Braunschweig' is provided. At the bottom, a red horizontal bar contains the event information: '8. FDS Usergroup Treffen, Berlin, 06.-07. November 2014'.

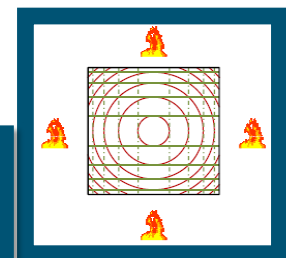
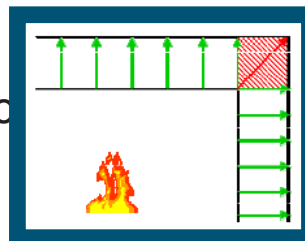
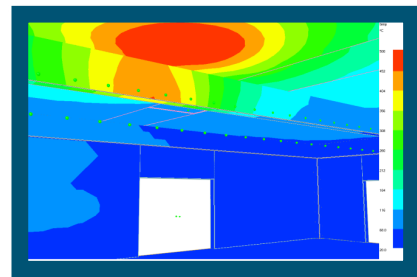
## Inhalt

- Einleitung
  - Problemstellung
  - Entwicklungen am IBMB (Historie)
- Implementierung
  - Modellierung anhand von Subzellen
  - Lösung der Wärmeleitungsgleichung
- Verifikation und Validierung
- Anwendungsbeispiel
- Zusammenfassung und Ausblick

## Einleitung

### Einleitung und Problemstellung

- Auch in FDS 6
- Wärmeleitung innerhalb der festen Phase nur eindimensional möglich
- Jede einzelne Oberfläche wird unabhängig voneinander berechnet
- Für eine Vielzahl von Situationen unzureichend



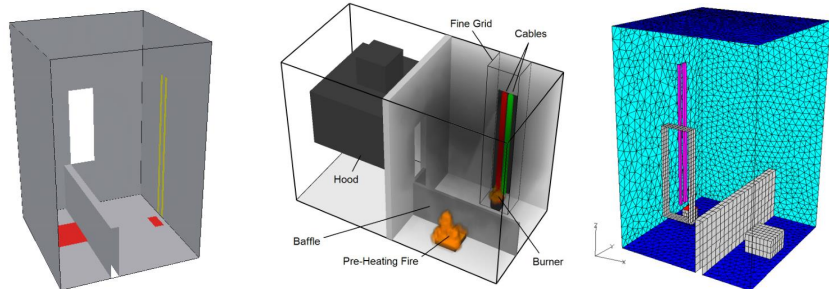
## „Historische Entwicklung“

- Mitarbeit in einer Reihe von Projekten hat die Notwendigkeit gezeigt, das Wärmeleitungsmodell von FDS zu verbessern
  - ICFMP-Projekt (bis 2006)
  - OECD-PRISME (2006 – 2011)
  - OECD-PRISME2 (ab 2011)
  
- Sukzessive Entwicklung / Erweiterung von FDS durch
  - Berücksichtigung lateraler Wärmeleitung
  - 3D-Wärmeleitung in FDS5
  - 3D-Wärmeleitung + Abbrand-/Pyrolyseberechnung in FDS6 (in Bearbeitung)



## Einleitung

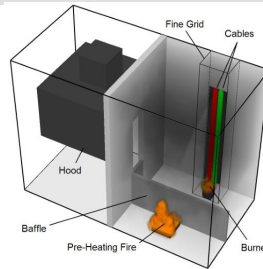
ICFMP-Projekt (2006)



	COCOSYS	FDS 4	CFX 10
Kabel-/Bündelgeometrie	Streifen ohne Ader	Streifen ohne Ader	Streifen ohne Ader
Temperaturberechnung	eindimensional	eindimensional	dreidimensional
Modellierung der Pyrolyse	empirisch	teilw. deterministisch	aus exp. Daten
Abbrandrate	aus Datenbank, abh. von Temperatur	nach Arrhenius-Gesetz	Vorgabe aus Versuchsergebnissen
Vorausberechnung (blinde Simulation)	prinzipiell	ja	nein

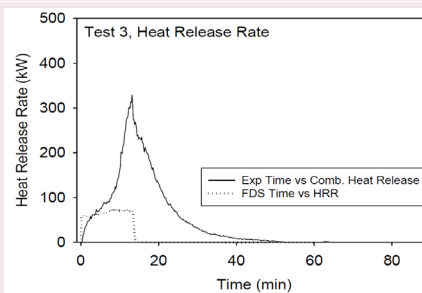
# Einleitung

ICFMP-Projekt  
(2006)



## FDS 4

### Wärmefreisetzungsrate Test 3

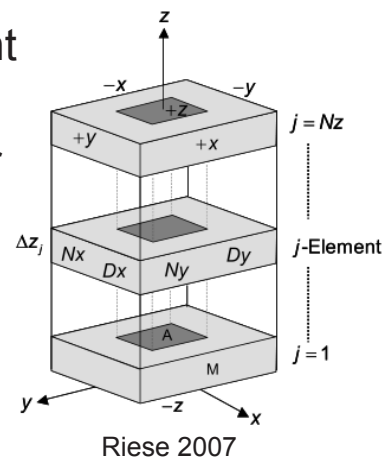


# Einleitung

- Vorausberechnung von Kabelbrandlasten war Stand 2006 nicht zufriedenstellend möglich
- Die Modellierung der Wärmeleitung für Kabelbrandlasten unzureichend

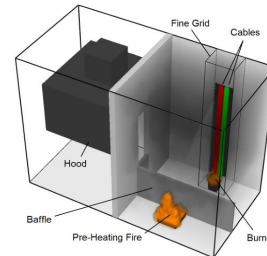
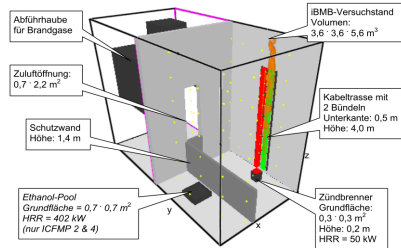
Arbeiten am iBMB

- Entwicklung eines Submodells in FDS zur Berücksichtigung lateraler Wärmetransporte



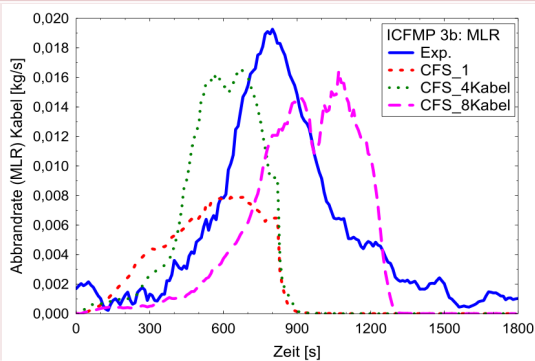


# Einleitung



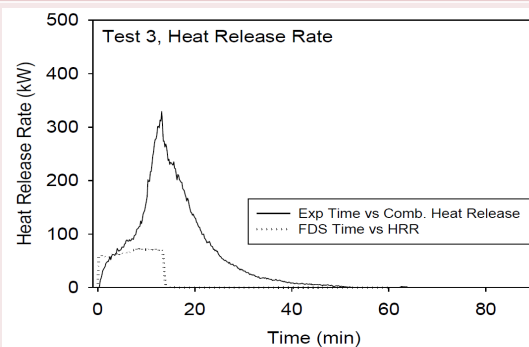
## FDS 4 - CFS

### Abbrandrate Test 3



## FDS 4

### Wärmefreisetzungsrate Test 3



# Einleitung

- Vorausberechnung von Kabelbrandlasten mit erweitertem Brandsimulationsmodell besser möglich
- Notwendigkeit zur Weiterentwicklung bleibt jedoch bestehen

## Arbeiten am iBMB

- Entwicklung eines gekoppelten dreidimensionalen Wärmeleitungsmodells in FDS Version 5
- Implementierung des Modells in FDS Version 6

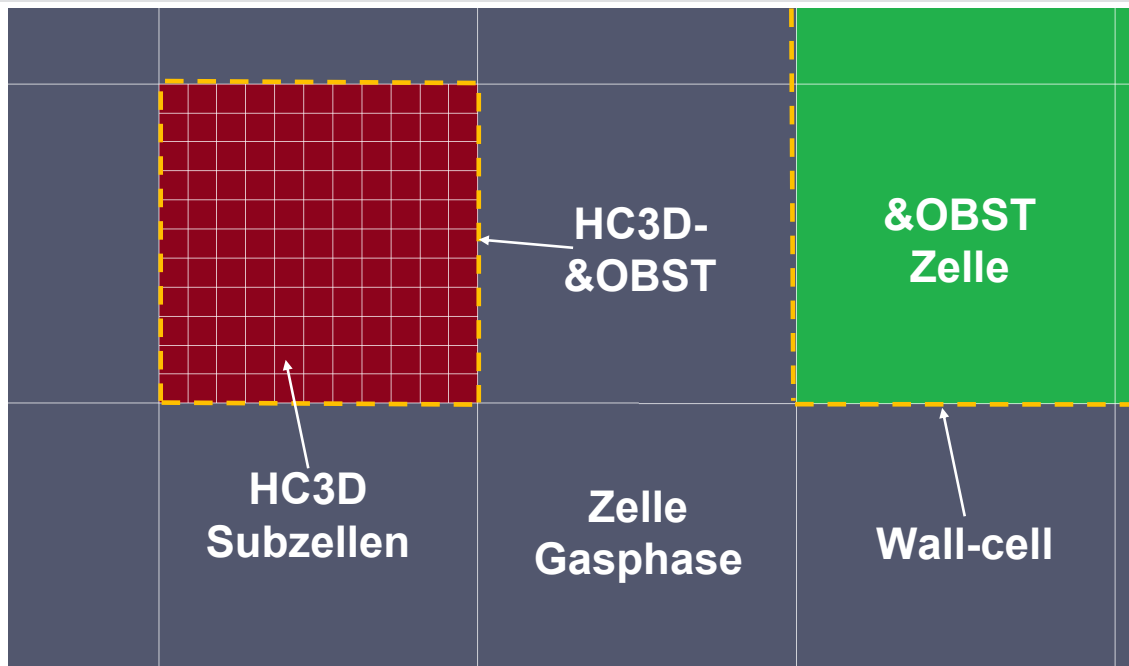


## Implementierung

- Implementierung basiert auf dem Fourier'schen Gesetz
  - Homogen-isotropes Material angesetzt, d. h.
  - $\lambda_{11} = \lambda_{22} = \lambda_{33}$  und  $\lambda_{i \neq j} = 0$
  - Wärmeleitfähigkeit  $\lambda(T)$ , spez. Wärmespeicherkapazität  $c_p(T)$  können temperaturabh. angegeben werden
  - Dichte  $\rho(T)$  kann als Funktion der Temperatur oder implizit auf Grundlage eines Pyrolysemodells definiert werden (in Entwicklung)
  - Keine konvektiven Anteile in der festen Phase berücksichtigt

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( \lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \lambda \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \lambda \frac{\partial T}{\partial z} \right) - \rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} = -q$$

## Implementierung



## Implementierung

- Zeitliche Diskretisierung mittels explizitem Euler-Verfahren (Euler forward)

$$\left. \frac{\partial T}{\partial t} \right|_t = \frac{T^{t+1} - T^t}{\Delta t} + O(\Delta t) \approx \frac{T^{t+1} - T^t}{\Delta t}$$

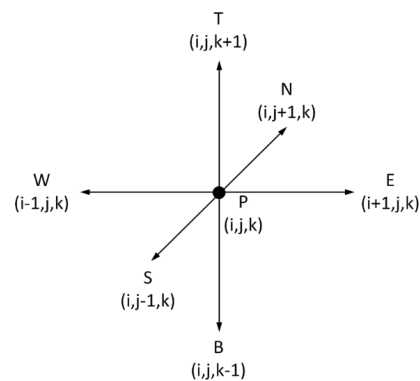
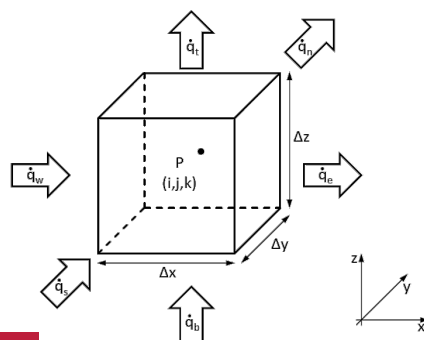
- Stabilität des Algorithmus hängt von der Zeitschrittweite ab

- Abschätzung der Zeitschrittweite: 
$$\Delta t \leq \frac{\rho c}{2\lambda \left( \frac{1}{\Delta x^2} + \frac{1}{\Delta y^2} + \frac{1}{\Delta z^2} \right)}$$

## Implementierung

FDS\_HC3D Subzellen: Bezeichnung der Flächen und Knoten

- -x / +x: W (West) / E (East)
- -y / +y: S (South) / N (North)
- -z / +z: B (Bottom) / T (Top)



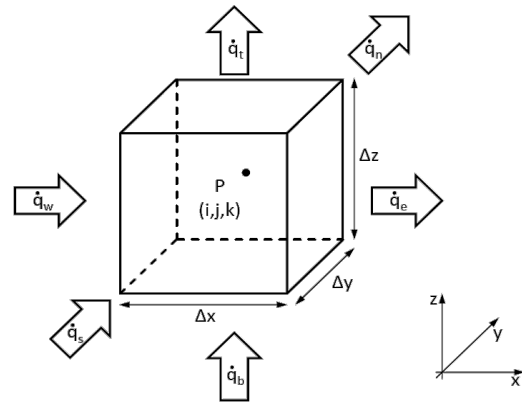
## Implementierung

- Temperaturberechnung

$$T_p^{t+1} = \frac{1}{a_p^t} \left( b + \sum_{NB} a_{NB} T_{NB}^t \right)$$

- Wärmestromkoeffizienten (2 je Richtung)

$$a_{W,E} = \frac{\lambda_{W,E} \Delta y \Delta z}{\Delta x} \quad a_{S,N} = \frac{\lambda_{S,N} \Delta x \Delta z}{\Delta y} \quad a_{W,E} = \frac{\lambda_{B,T} \Delta x \Delta y}{\Delta z}$$



- Anteil aus Wärmespeicherkapazität sowie Quellen/Senken

$$a_p^t = \frac{\rho c \Delta x \Delta y \Delta z}{\Delta t} \quad b^t = \left( a_p^t - \sum_{NB} a_{NB} \right) T_{NB}^t + \dot{S}^t \Delta x \Delta y \Delta z$$

## Implementierung

Nichtlineare Materialparameter (Temperaturabhängig)

- Harmonische Mittelung (Wärmeleitfähigkeiten)

$$\frac{1}{\lambda_{OF}} = \frac{(1 - f_{NB})}{\lambda_p} + \frac{f_{NB}}{\lambda_{NB}} \quad \xrightarrow{f_{NB}=0,5} \quad \lambda_{OF} = \frac{2\lambda_p \lambda_{NB}}{\lambda_p + \lambda_{NB}}$$

- Formulierung der Randbedingungen als
  - konstante Oberflächentemperatur
  - konstante Wärmestromdichte
  - Wärmestromdichte aus Konvektion und Strahlung infolge eines Brandes
 } Diagnose- und Testfälle
- Wärmequellen/-senken
- Thermischer Kontaktwiderstand

## Implementierung

- Randbedingungen zwischen fester und Gasphase

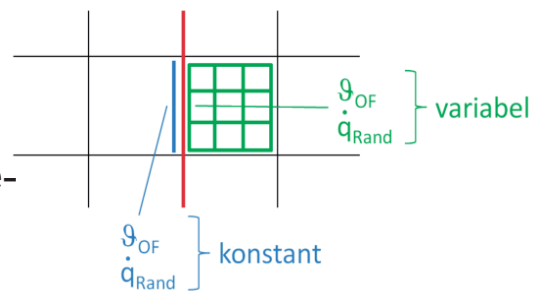
$$q_{net,c}^{\square} = \alpha_c \cdot (T_g - T_a)$$

$$q_{net,r} = \phi \cdot \varepsilon_{res} \cdot \sigma \cdot ((T_g + 273)^4 - (T_a + 273)^4)$$

$$q_{net,d} = q_{net,c} + q_{net,r}$$

Mittelung nötig:

- 1 Zelle der Gasphase trifft auf 3 HC3D Subzellen <-> Oberflächentemperatur und Wärmestrom wird gemittelt an Gasphase übergeben



## Implementierung

- Randbedingungen zwischen fester und Gasphase

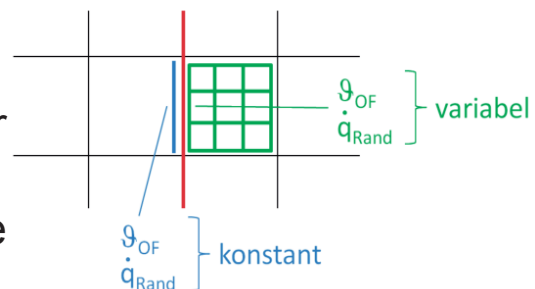
$$q_{net,c}^{\square} = \alpha_c \cdot (T_g - T_a)$$

$$q_{net,r} = \phi \cdot \varepsilon_{res} \cdot \sigma \cdot ((T_g + 273)^4 - (T_a + 273)^4)$$

$$q_{net,d} = q_{net,c} + q_{net,r}$$

Mittelung nötig:

- Zeitschrittkriterium kann zu kleineren Zeitschritten in fester Phase führen <-> Mittelwert der jeweiligen Unterzeitschritte wird übergeben

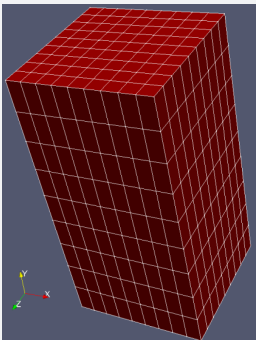


## Neue und modifizierte Module

Modul	Routinen/Funktionen/ Typen	Erläuterung
Read	READ_OBST	Einlesen der Diskretisierung der HC3D-Obstruction
	READ_COMP	Einlesen der Komponentendefinition
	READ_SURF	Einlesen der Oberflächeneigenschaften (HC3D_SF, Wärmeübergangsmodell Kanal)
Type	OBSTRUCTION_TYPE	Diskretisierung in Subzellen, Ausgabeeinstellungen
	COMP_TYPE	Massen- und Volumenanteile der Materialien der Subzellen
	SURFACE_TYPE	Flag HC3D_SF, zusätzliche Parameter für das Wärmeübergangsmodell für Kanalströmungen
Wall	Wenn Bedingungen erfüllt, CALL der hc3d-Routinen	
hc3d	Hc3d_calc()	Berechnung der Temperaturen für jede Subzelle
	Hc3d_ausgabe()	Schreiben der Ausgabedaten

## Aufbau für FDS Testfall „birch\_tga“

### Körper (&OBST)



### FDS Eingabe

```
&OBST XB=0.23,0.28,0.00,0.10,0.20,0.25,
HC3D_OB=.TRUE., ANZAHL_XX=10,
ANZAHL_YY=10, ANZAHL_ZZ=10,
AUSGABE=.TRUE., DT_AUSGABE=30,
```

```
SURF_ID6='RB1','RB2','RB3','RB4','RB5',
'RB6',
```

```
HC3D_COMP = 1,...,2,... /
```

### Komponente (&COMP)

```
&COMP ID='MOISTBIRCH'
```

```
MATL_ID_0 = 'MOISTURE','BIRCH',
```

```
MATL_MASS_FRAC_0 = 0.02,0.98 /
```

## Aufbau für FDS Testfall „birch\_tga“

Komponente  
(&COMP)

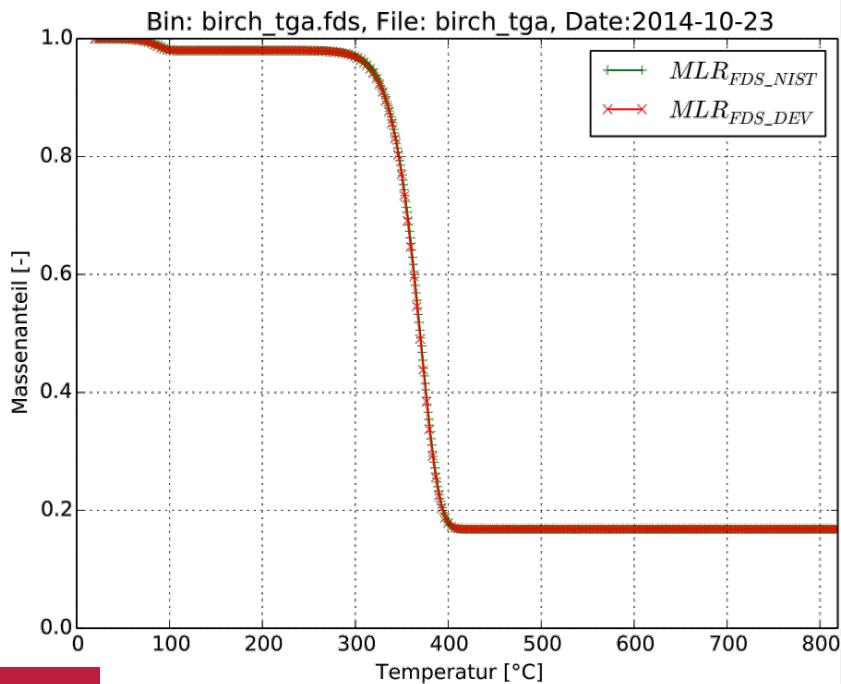
```
&COMP ID='MOISTBIRCH'
      MATL_ID_0 = 'MOISTURE', 'BIRCH',
      MATL_MASS_FRAC_0 = 0.02, 0.98 /
```

Material  
(&MATL)

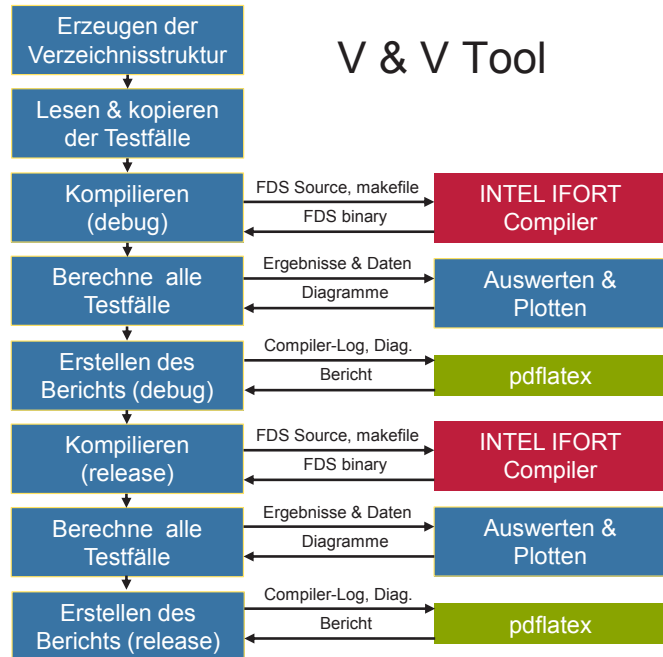
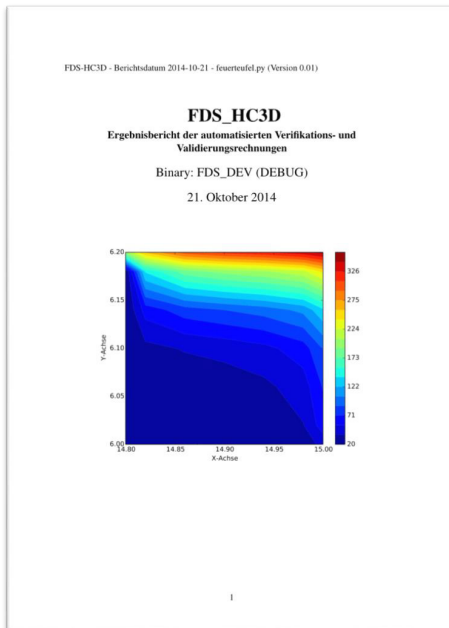
```
&MATL ID='MOISTURE'
      EMISSIVITY=1.0, DENSITY=1000.0,
      CONDUCTIVITY=0.6, SPECIFIC_HEAT=4.19,
      N_REACTIONS=1, A=1E13, E=1.0E5, N_S=1,
      SPEC_ID='WATER VAPOR', NU_SPEC=1.0,
      HEAT_OF_REACTION=2260 /
```



## Aufbau für FDS Testfall „birch\_tga“



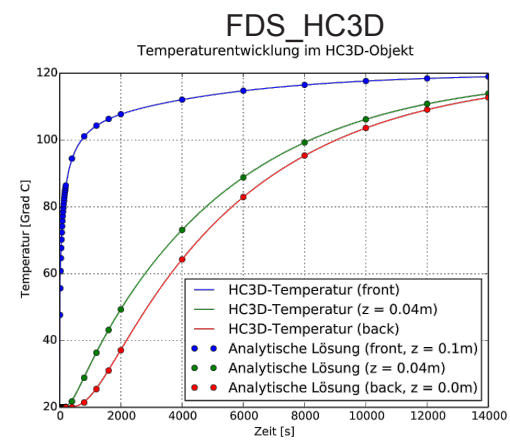
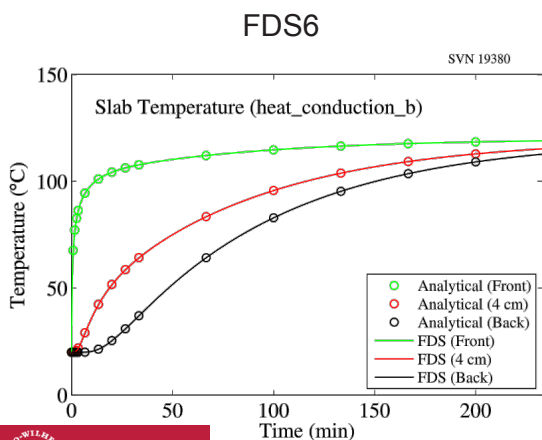
# Verifizierung / Validierung



# Verifizierung / Validierung

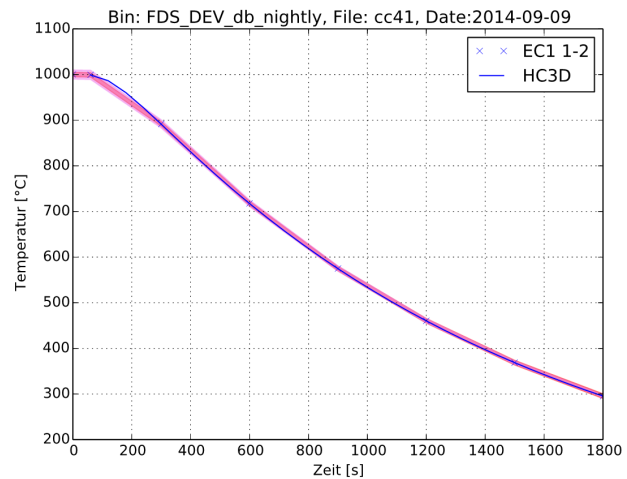
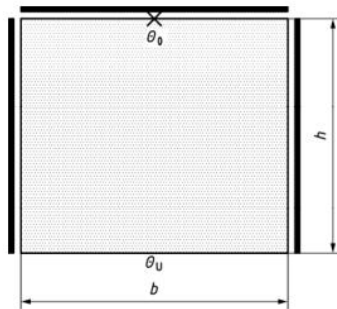
- Wärmeleitung durch einen Festkörper (FDS verification test case „solid slab“)

Case	$k$ (W/(m · K))	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$c$ (kJ/(kg · K))	$h$ (W/(m <sup>2</sup> · K))	Bi $hL/k$
A	0.1	100	1	100	100
B	0.1	100	1	10	10



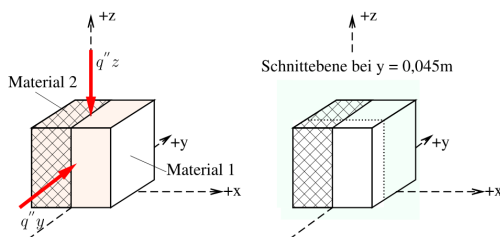
## Verifizierung / Validierung

- Eurocode 1 Teil 1-2 Nationaler Anhang, Validierungsbeispiel CC4.1



## Verifizierung / Validierung

- 3D Wärmeleitung für einen Würfel aus zwei Materialien

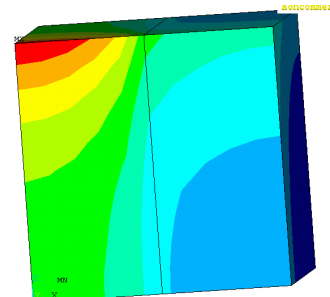
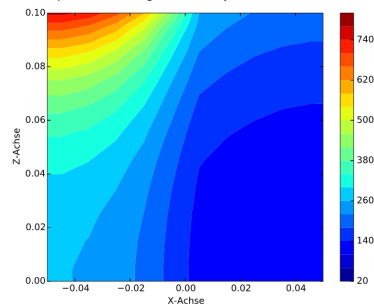


Temperatur [°C]	Material 1			Material 2		
	$\lambda$ [W/mK]	$\rho$ [kg]	$c_p$ [J/kgK]	$\lambda$ [W/mK]	$\rho$ [kg]	$c_p$ [J/kgK]
20	1,5	1000	1000	5	2300	1000
100	1,0	900	900	4	2200	900
200	0,8	700	600	3	2150	600
500	0,5	500	500	2	2000	500

Umgebungstemperatur:  
 $t = [0,600,1000,1600,2000]$   
 $T = [20,1000,1000,20,20]$

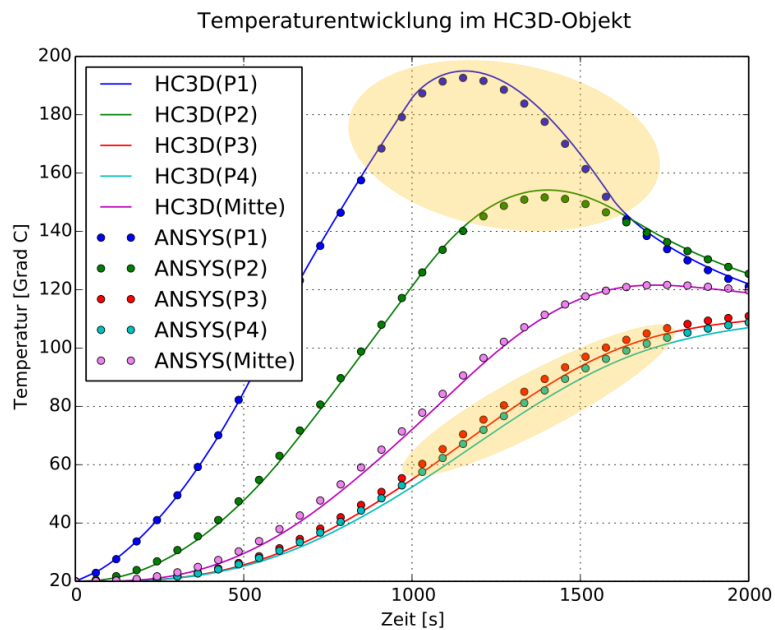
HT\_COEFF = 10 W/m<sup>2</sup>\*K

Temperaturverteilung im HC3D-Objekt bei t = 1000.00s



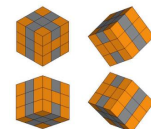


# Verifizierung / Validierung

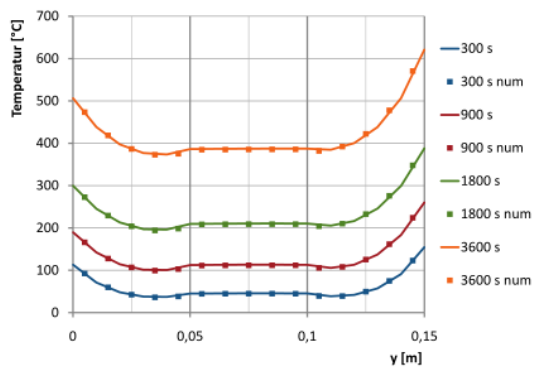


# Verifizierung / Validierung

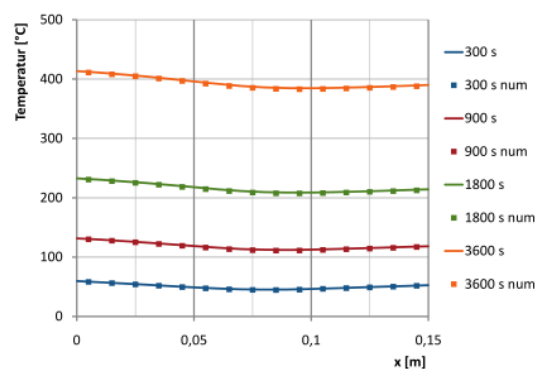
Das 3D-Wärmeleitungsmodell wurde außerdem in der Version FDS5 anhand weiterer Testfälle verifiziert und validiert (siehe Dissertation Hohm)



Parallel zur X-Achse im Flächenmittelpunkt des Würfels

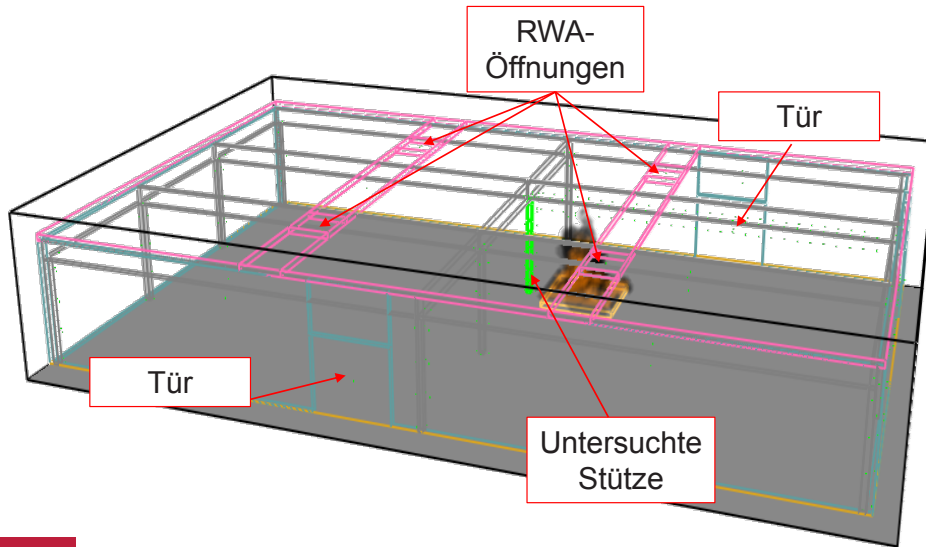


Parallel zur Y-Achse im Flächenmittelpunkt des Würfels

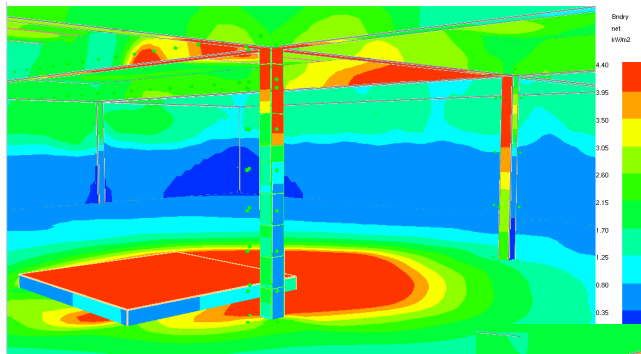


## Anwendungsbeispiel

Lokaler Brand in einer 400m<sup>2</sup> großen Produktionshalle

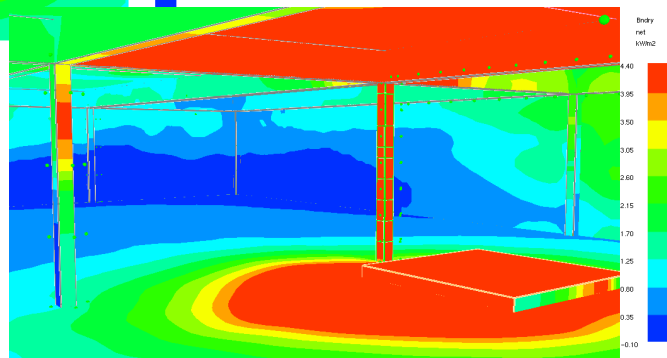


## Anwendungsbeispiel



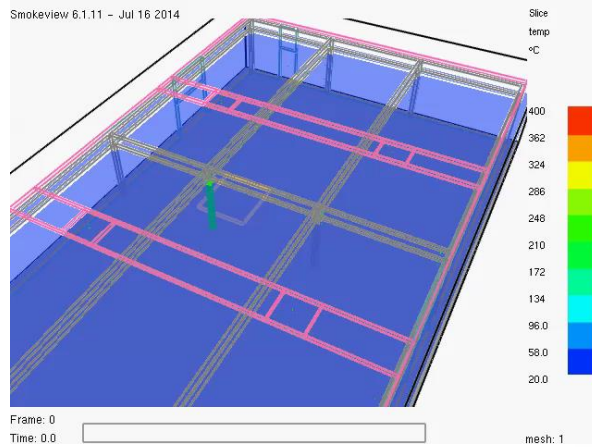
Quantity: Netto-Wärmestromdichte  
t = 1050 s  
Blick aus Süd-Westen

Quantity: Netto-Wärmestromdichte  
t = 1050 s  
Blick aus Nord-Osten



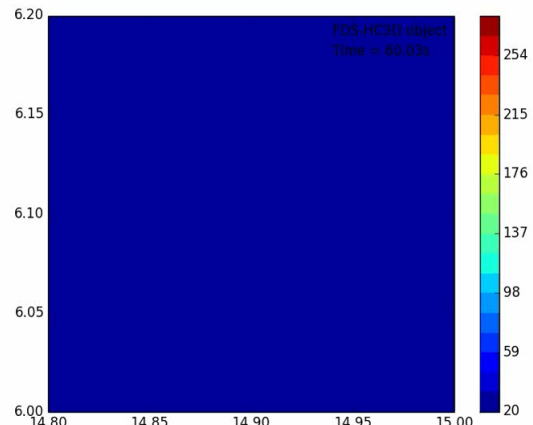
# Anwendungsbeispiel

Gastemperatur



$z = 3,1 \text{ m}$

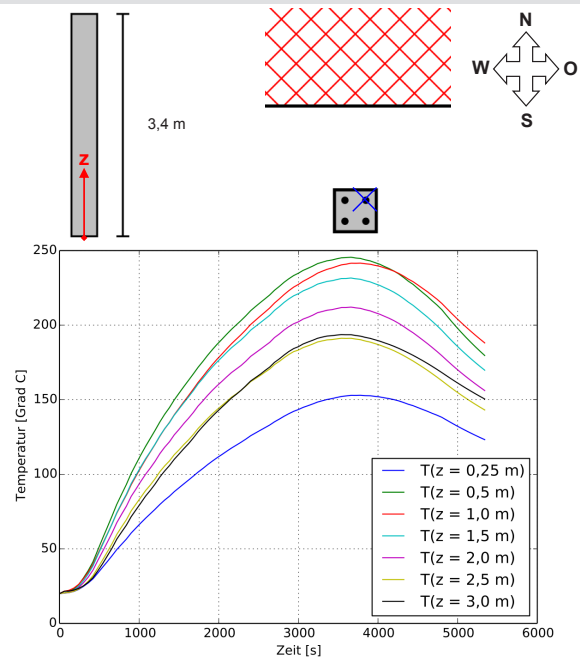
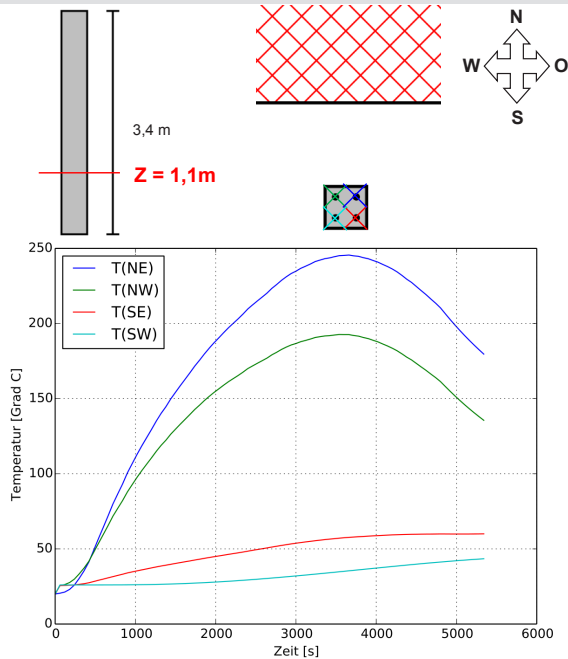
Temperaturverteilung im Querschnitt



$z = 3,14 \text{ m}$



# Anwendungsbeispiel



## Zusammenfassung

- Berücksichtigung dreidimensionaler Wärmeleitungsvorgänge ist für viele Fragestellungen des Brandschutzingenieurwesens nötig
- Implementierung in die CFD-Software FDS ermöglicht die direkte Berechnung der Temperaturfelder dreidimensionaler Volumen
- Verifizierung und Validierung zeigt für die verschiedenen untersuchten Testfälle die grundsätzliche Anwendbarkeit des Submodells

## Ausblick

- Weitere Informationen
  - Dissertation Hohm (UB Braunschweig)
  - Hosser & Hohm, Fire Safety Journal 62 (2013)
- Geplante und laufende Arbeiten
  - Modell wird um Abrand-/Pyrolyseberechnung erweitert
  - Untersuchung und Optimierung der Laufzeiten
  - Modulstruktur soll Implementierung in spätere Versionen vereinfachen
- Alle Probleme vorangegangener Forks auch für diese Entwicklung relevant
  - Weiterentwicklung, Wartung, Pflege und Fehlerbehebung als Stichworte



**Corinna Trettin**

**Einfluss der Pyrolyseparameter auf die Brandsimulation.**

8. Anwender-Treffen 2014

 BERGISCHE  
UNIVERSITÄT  
WUPPERTAL

# Einfluss der Pyrolyseparameter auf die Brandsimulation



C. Trettin\*, P. Hagemann\*, M. Werrel\*\*, M. Meinert\*\*\*, F.-W. Wittbecker\*

\*Bergische Universität Wuppertal

\*\*BASF, Ludwigshafen

\*\*\* Fachhochschule Münster

Einfluss der Pyrolyseparameter auf die Brandsimulation



# Inhalt

- Einführung
- Laborexperimente
  - Thermogravimetrische Analyse
- FDS-Simulation
  - Labormaßstab
  - Realmaßstab
- Fazit

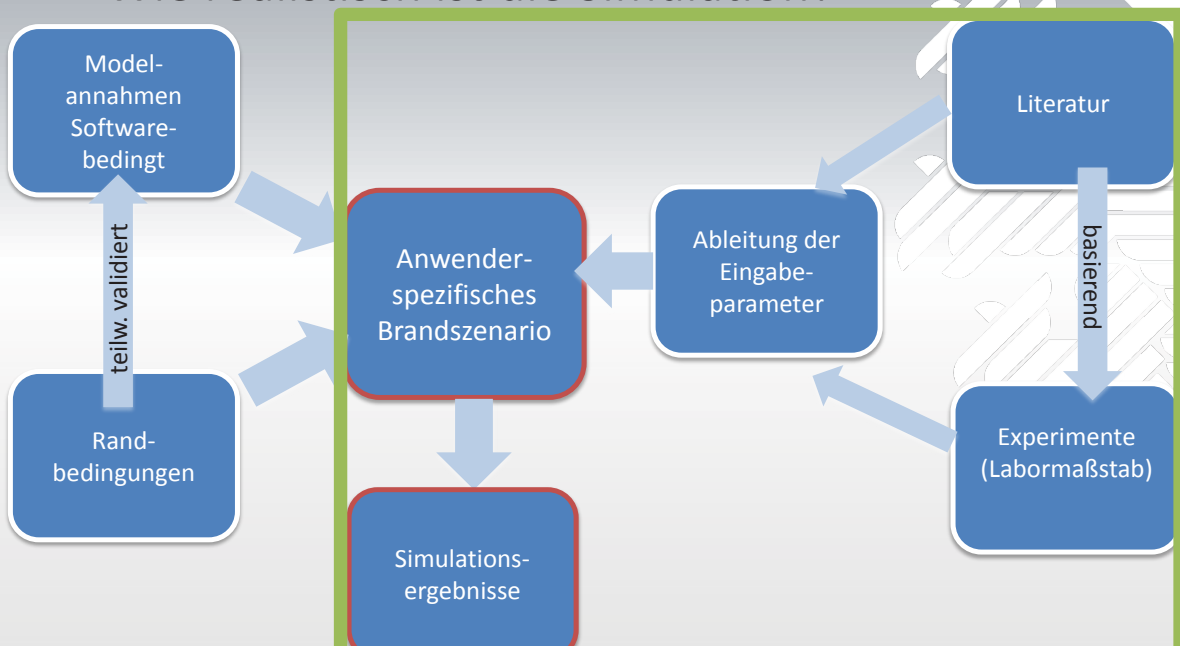


Einführung



# Motivation

- Wie realistisch ist die Simulation?





Einführung



# Hintergrund

- Transfeu - Forschungsprojekt
  - Labor → Realmaßstab



Cone Calorimeter/  
Smoke Box

Thermo-  
gravimetrische  
Analyse



SBI/ Fullscale



Realmaßstab

Quelle:Transfeu

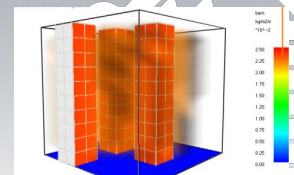
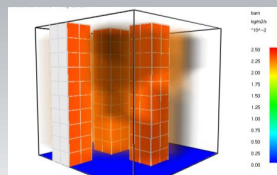
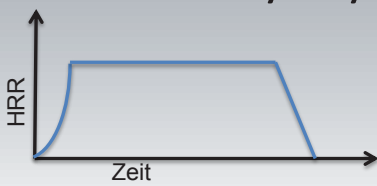
– Übertragung nur bedingt möglich

Einführung

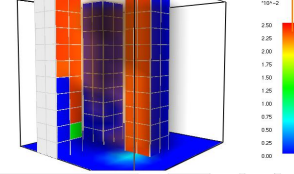
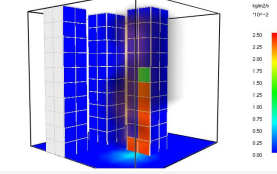
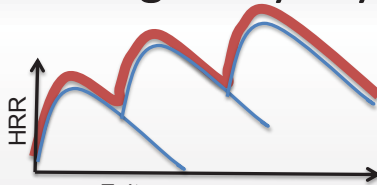


# Brandausbreitung

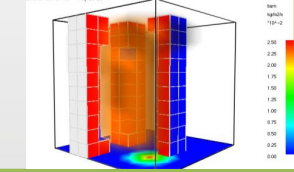
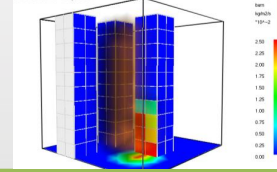
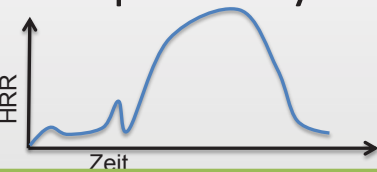
- Einfaches Pyrolyse-Modell



- Bedingtes Pyrolyse-Modell




- Komplexes Pyrolyse-Modell





BERGISCHE UNIVERSITÄT WUPPERTAL

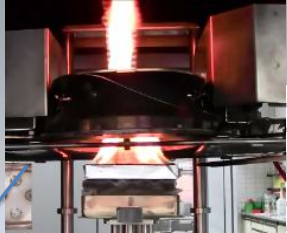
## Einführung



# Ansatz

Thermische Eigenschaften

$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$C$ (kJ/kg·°C)	$k$ (W/m·°C)
--------------------------------	-------------------	-----------------



Labor Experimente

Bestimmung der Eingabeparameter

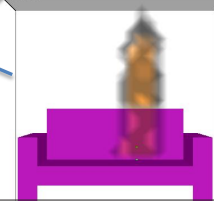
Labormaßstab  
TGA & Cone

Bewertung der Ergebnisse

$$E = \frac{er_p}{Y_0} \frac{RT_p^2}{\dot{T}} ; A = \frac{er_p}{Y_0} e^{E/RT_p}$$

Pyrolyse Parameter

Realmaßstab





BERGISCHE UNIVERSITÄT WUPPERTAL


## Labor Experimente

# Thermogravimetrische Analyse (TGA)


- Heizrate: 5K/min, 60K/min
- Umgebungsbedingungen: 10 %, 21% O<sub>2</sub>


- Proben




ABS



PU



PMMA



Particle Board

## TGA Ergebnisse

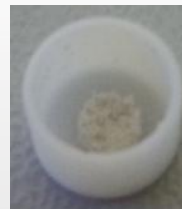
- Unterschiedliche Verbrennungsprozesse
  - Rückstände
  - Aggregatzustände
  - Heizrate
  - Sauerstoffkonzentration
  - Zusätze
  - Thermische Trägheit



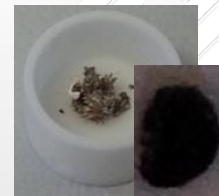
PMMA  
< 0.1 %



ABS  
< 0.5 %



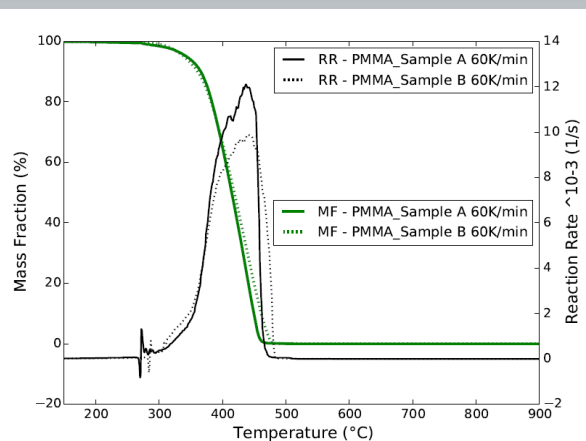
PU  
6 – 8 %



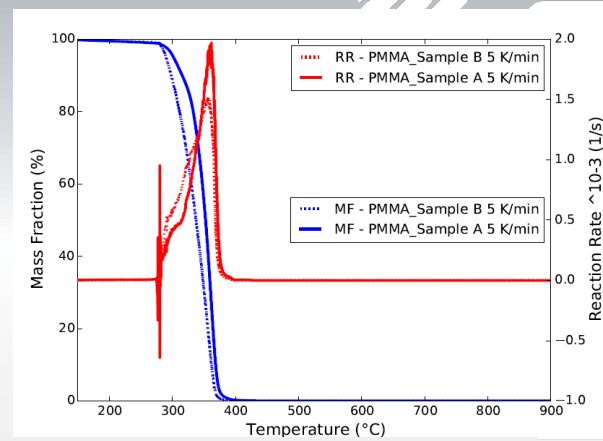
Spanplatte  
1 %

## TGA Ergebnisse

### PMMA

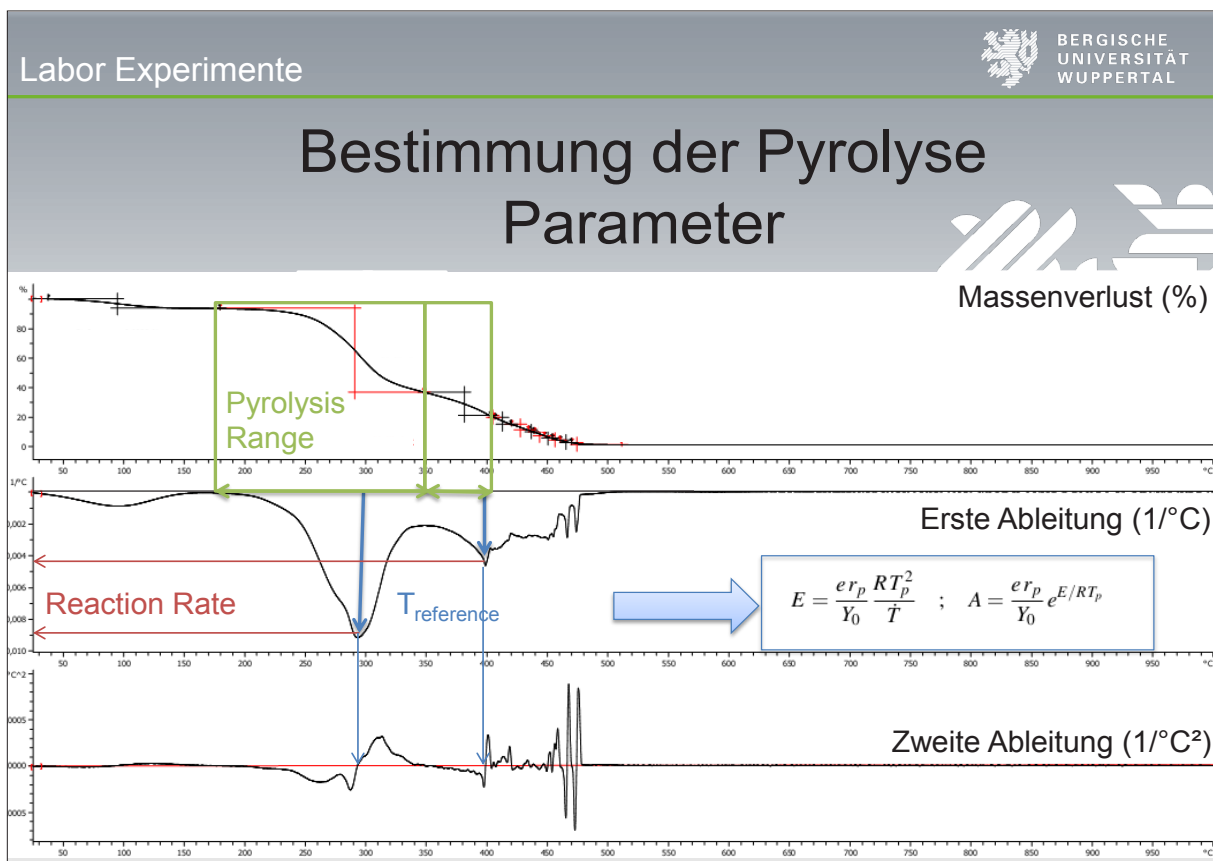
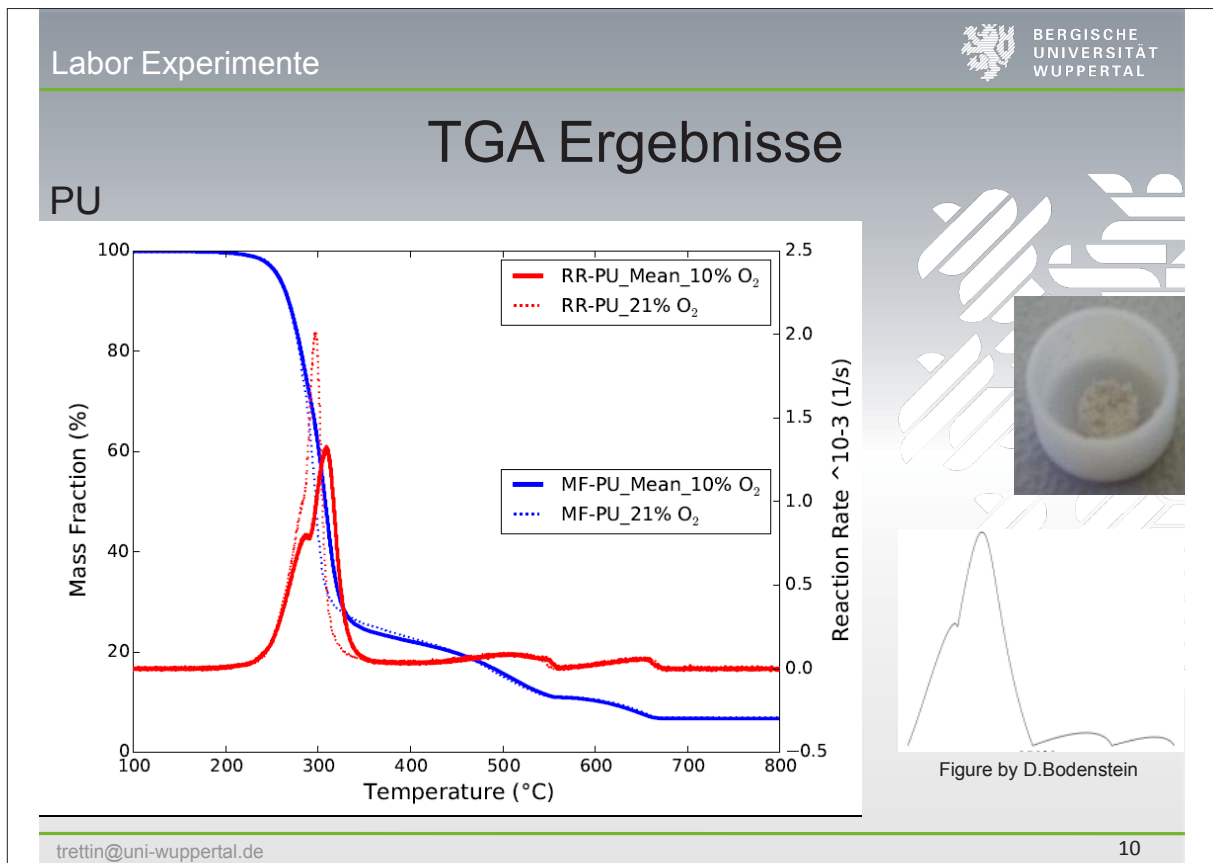


60 K/min



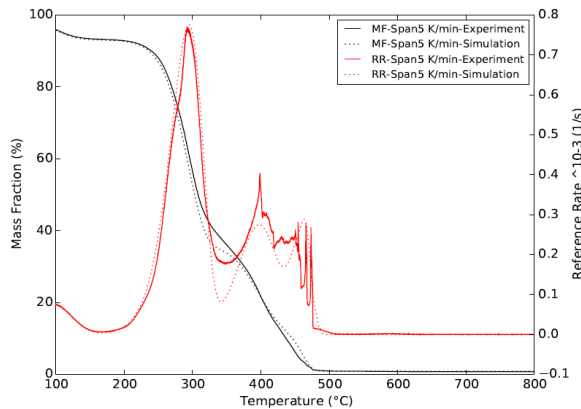
5 K/min



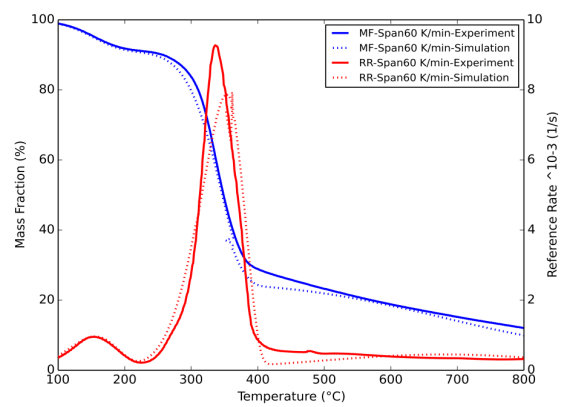


## Vergleich FDS und TGA Experimente

### Spanplatte

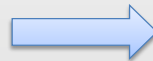


5 K/min



60 K/min

Arrhenius Parameter



$$E = \frac{e r_p}{Y_0} \frac{R T_p^2}{T} ; A = \frac{e r_p}{Y_0} e^{E/RT_p}$$

## Randbedingungen

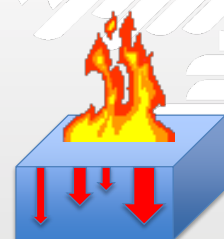
- TGA
  - Vernachlässigung thermischer Trägheit
  - Fokus: Pyrolyse

$O_2 = 0.01$



- Cone
  - Berücksichtigung thermischer Eigenschaften
  - Sauerstoffverfügbarkeit
  - Fokus: Massenverlustrate und Wärmefreisetzungsrate

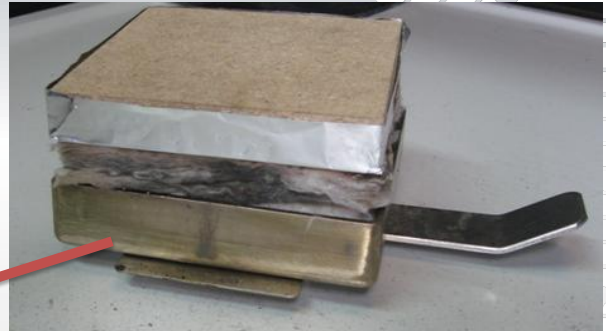
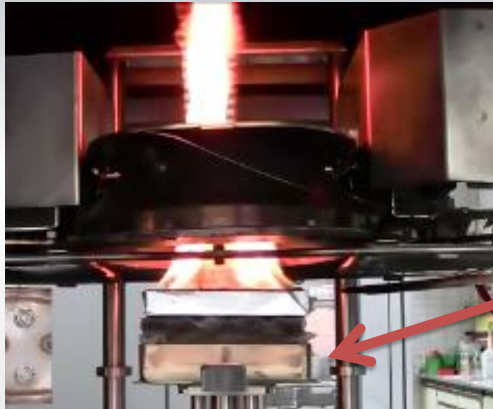
$O_2 = 0.23$



FDS-Simulation



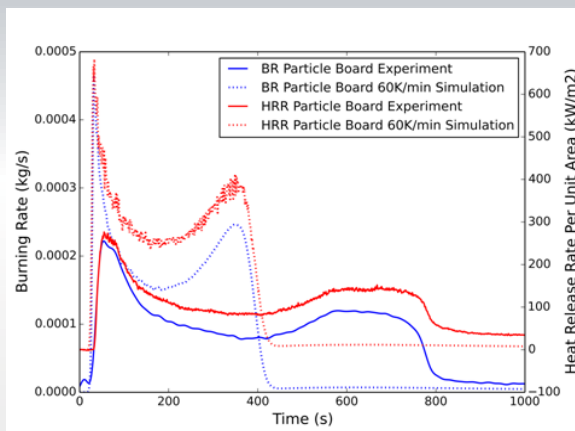
# Simuliertes Cone Calorimeter Spanplatte



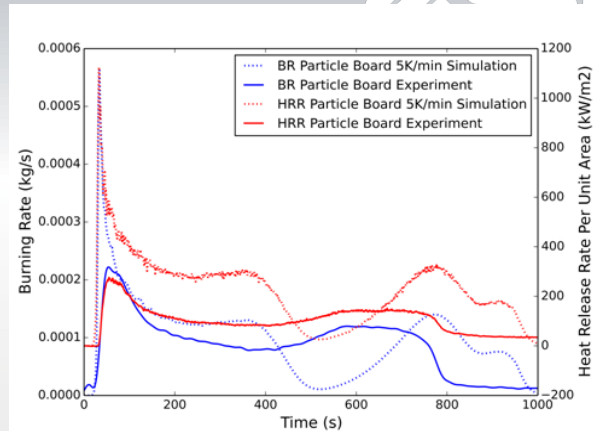
FDS-Simulation



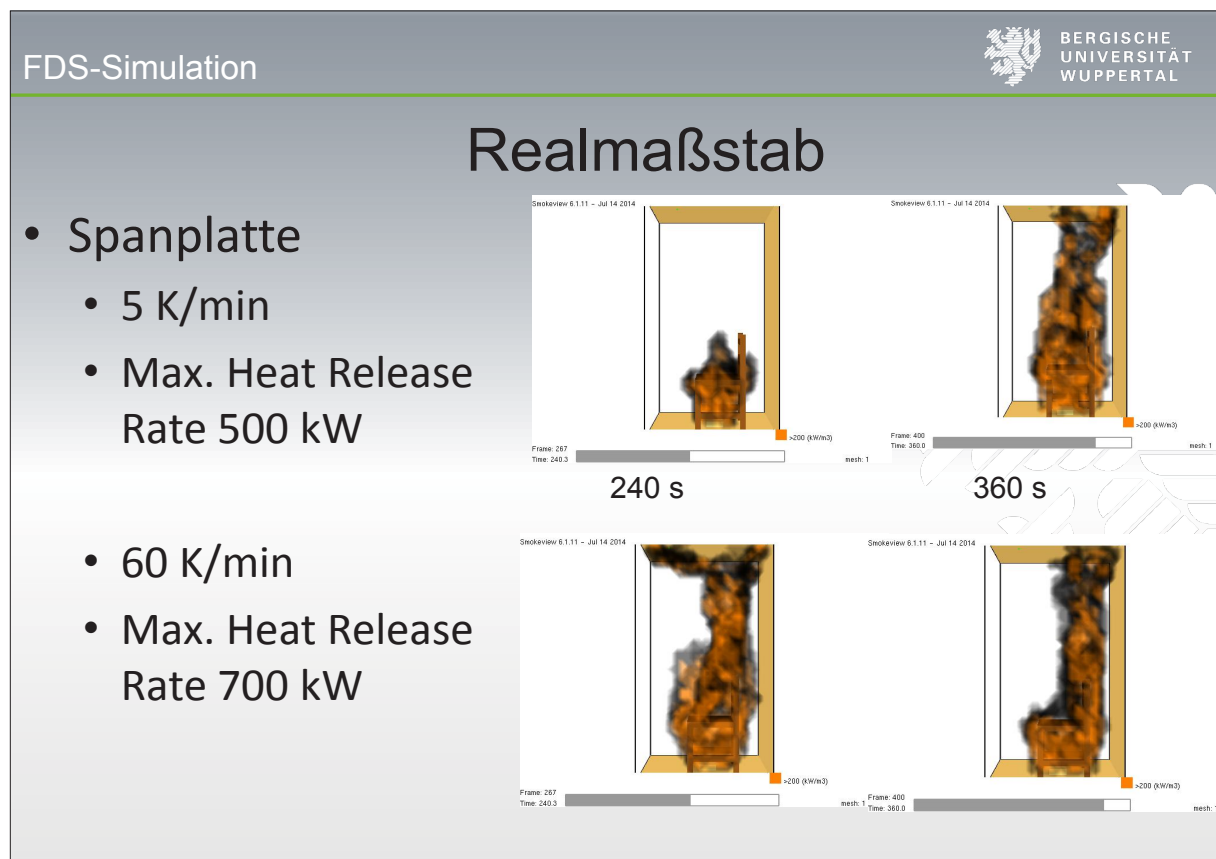
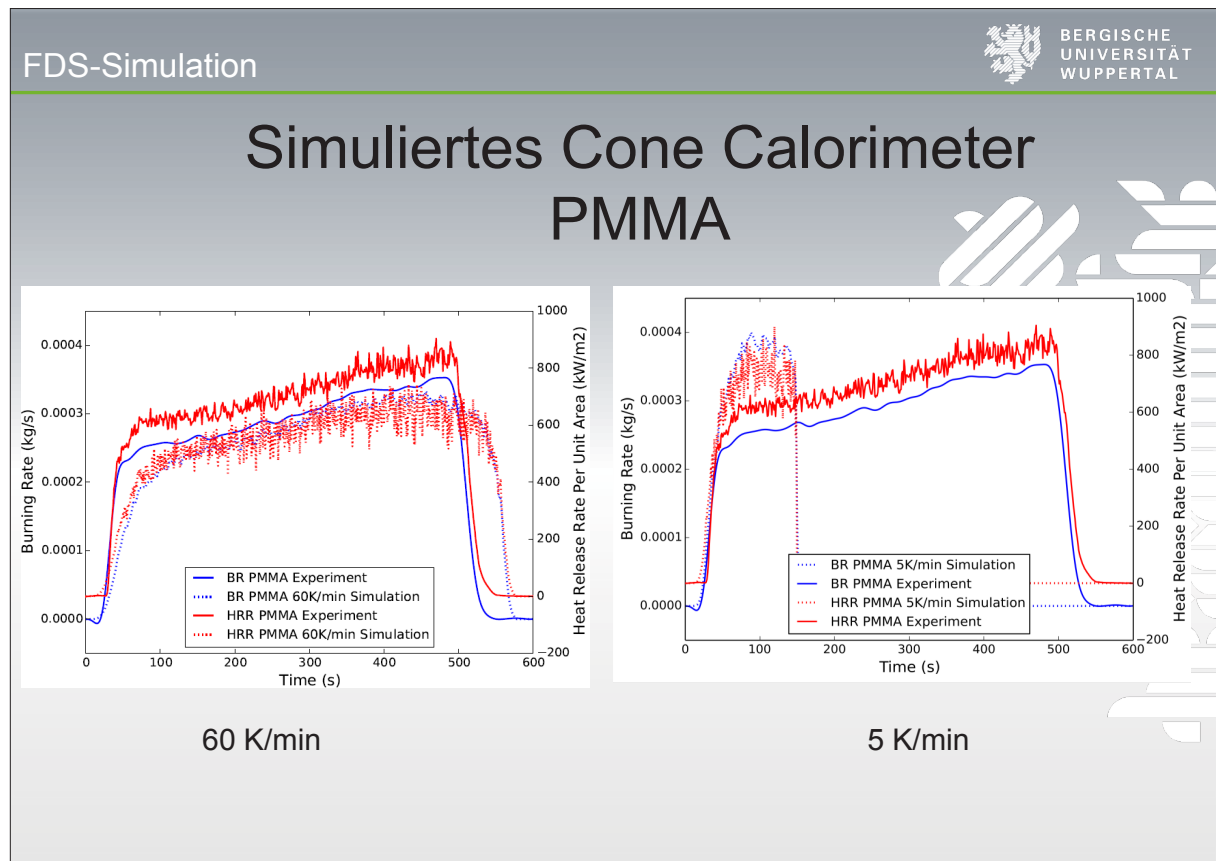
# Simuliertes Cone Calorimeter Spanplatte



60 K/min



5 K/min



FDS-Simulation

BERGISCHE UNIVERSITÄT WUPPERTAL

## Realmaßstab

- PU
  - 3 Pyrolyseprozesse
- 2 Pyrolyseprozesse
- 1 Pyrolyseprozess

Einfluss der Pyrolyseparameter auf die Brandsimulation

BERGISCHE UNIVERSITÄT WUPPERTAL

## Fazit

- Brandszenario
- Sensibilität
- Modellierungsprozess
- Materialeigenschaften
- Klassifizierung
- Erfahrung

Einfluss der Pyrolyseparameter auf die Brandsimulation



Ende.

[trettin@uni-wuppertal.de](mailto:trettin@uni-wuppertal.de)





**Dr. Lukas Arnold**

**Sensitivitätsanalysen mittels CFD Simulationen von U-Bahnstationen  
unter Berücksichtigung unterirdischer Klimamodelle.**

Sensitivitätsanalysen mittels CFD Simulationen  
von U-Bahnstationen  
unter Berücksichtigung unterirdischer Klimamodelle

FDS User Meeting 2014  
Berlin, 6. - 7. November 2014

Lukas Arnold, Markus Brüne, Andreas Meunders,  
Sven Schmidt, Benjamin Schröder

email: [l.arnold@fz-juelich.de](mailto:l.arnold@fz-juelich.de)

Jülich Supercomputing Centre, Forschungszentrum Jülich  
Bergische Universität Wuppertal  
Ruhr-Universität Bochum



## Motivation Sensitivitätsanalyse

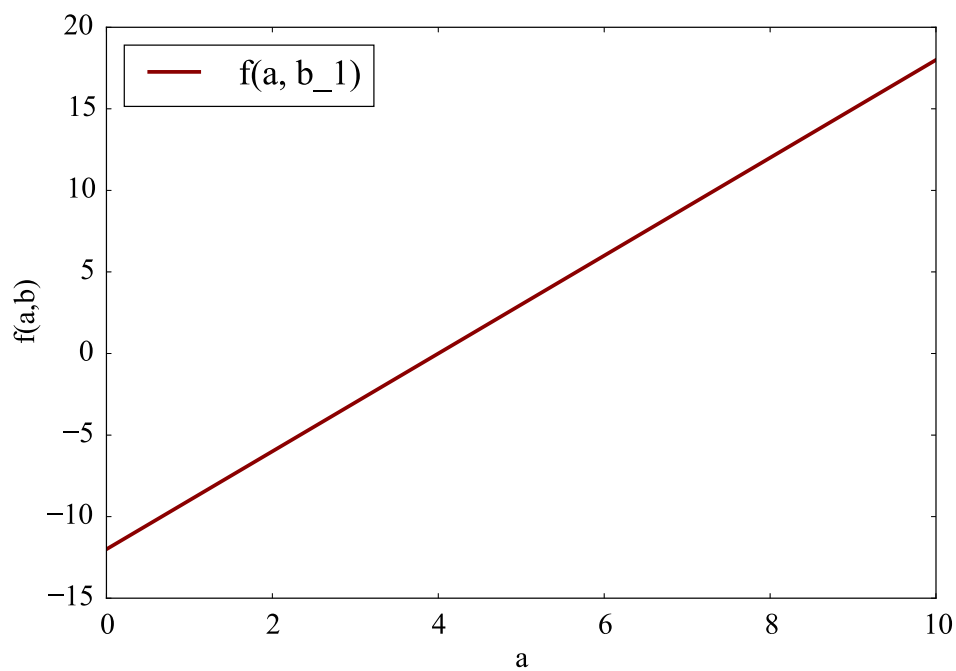
Wie kann ein komplexes System mit vielen Parametern analysiert werden?

- ▶ gezieltes "Herumstochern"
- ▶ Bildung eines einfachen repräsentativen / analytischen Modells

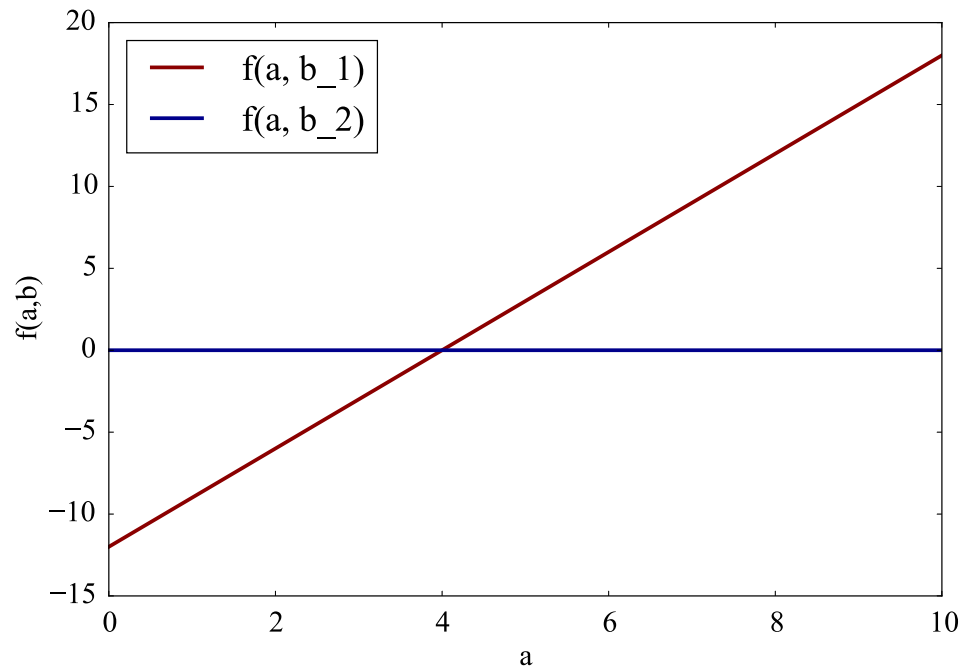
Beispiel: zwei Parameter, System  $f(a, b)$  unbekannt

- ▶ gesucht ist die Wirkung **beider** Parameter
- ▶ "naives" single-factor Vorgehen kritisch

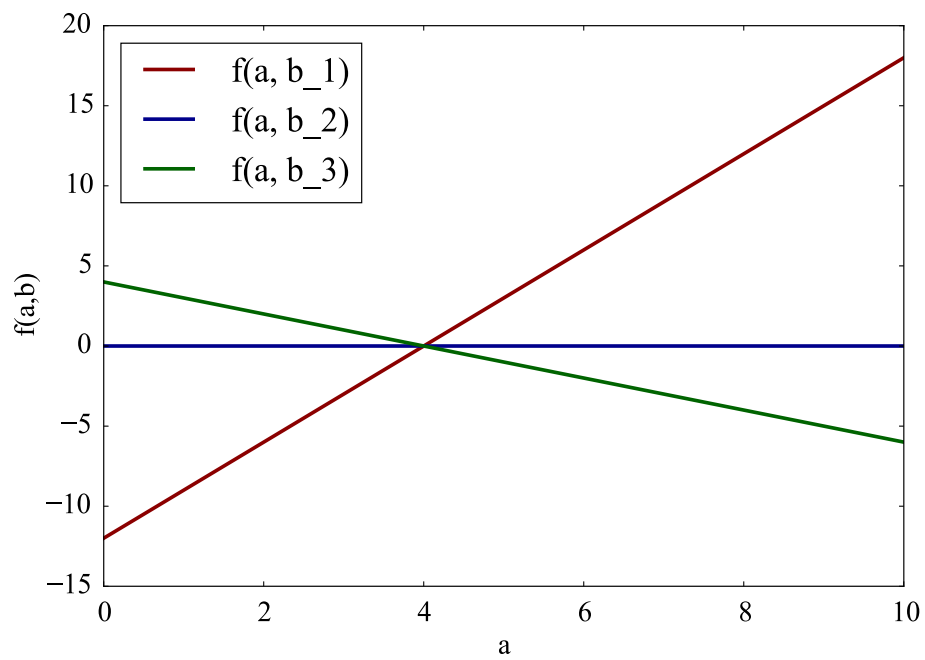
## Motivierendes Beispiel (I)



## Motivierendes Beispiel (II)



## Motivierendes Beispiel (III)



## Motivierendes Beispiel (IV)

Die Variation einzelner Parameter kann irreführend sein.

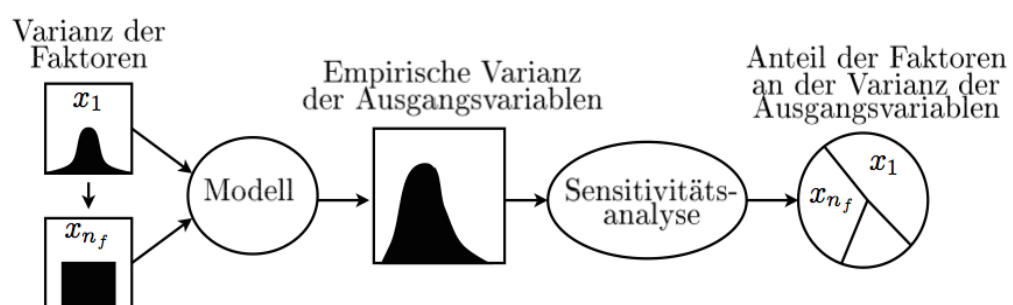
Das System im obigen Beispiel ist durch

$$f(a, b) = (a - 4) \cdot b$$

beschrieben bzw. vorgegeben.

Die simultane Variation beider Parameter hätte sinnvolle Analysen erlaubt.

## Sensibilitätsanalyse

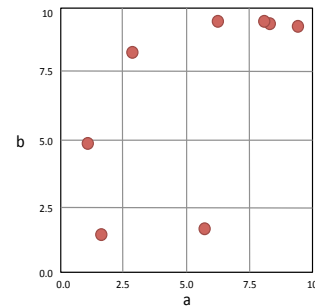


Quelle: Siebertz et al. (2010)

## Sampling Methoden

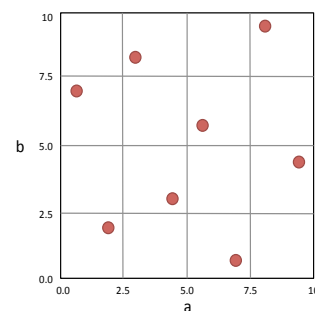
### Monte Carlo

- ▶ einfach zu Realisieren
- ▶ zufällige Wahl von Parametersätzen
- ▶ hohe Anzahl von Samples notwendig



### Orthogonal Sampling / Latin Hypercube Sampling

- ▶ systematische / raumfüllende Samples
- ▶ komplexe Auswahl der Sätze
- ▶ "geringe" Anzahl von Samples notwendig



## Modellfunktion

Linearer Ansatz zur Modellierung der Zielgröße  $Y$ :

$$Y = \alpha + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_N X_N$$

Dabei sind die  $X_i$  die Parameter und die  $\beta_i$  die zu bestimmenden Koeffizienten.

### Warum linear?

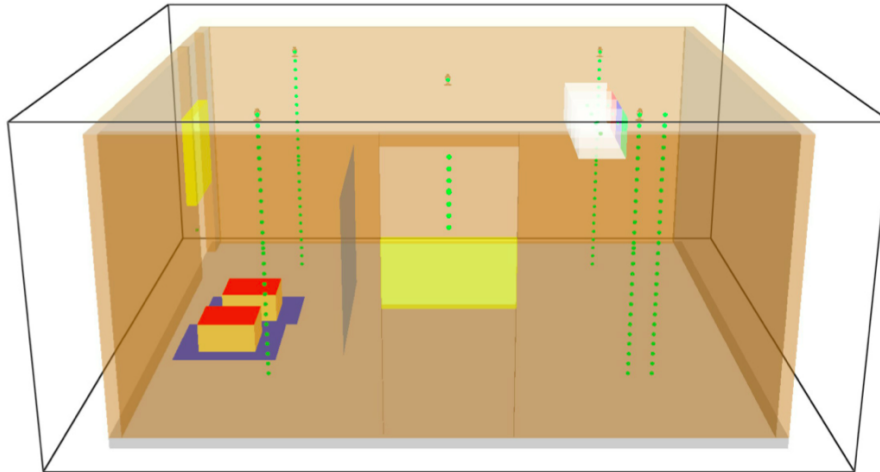
- ▶ einfachster Ansatz
- ▶ bei Bedarf können auch Polynome höherer Ordnung genutzt werden

### Wechselwirkungen?

- ▶ Hinzunahme von bilinearen Termen, z.B.:

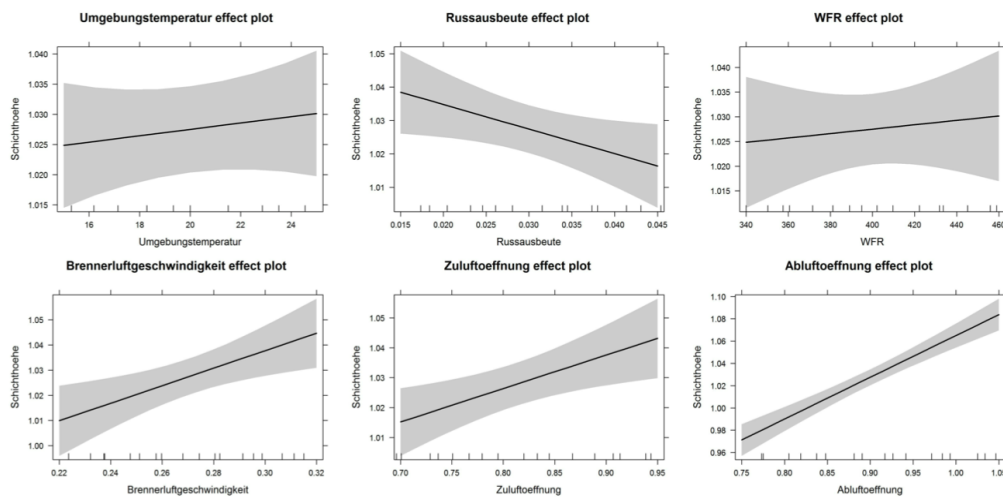
$$\dots + \beta_{3,4} X_3 X_4 + \dots$$

### Beispiel Raumbrand – Aufbau

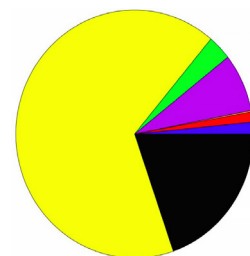


- ▶ angelehnt an die Experimente der NRW-FDS User Group in Karlsruhe
- ▶ sechs Parameter, Zielgröße ist die Rauchschichthöhe

### Beispiel Raumbrand – Sensitivität

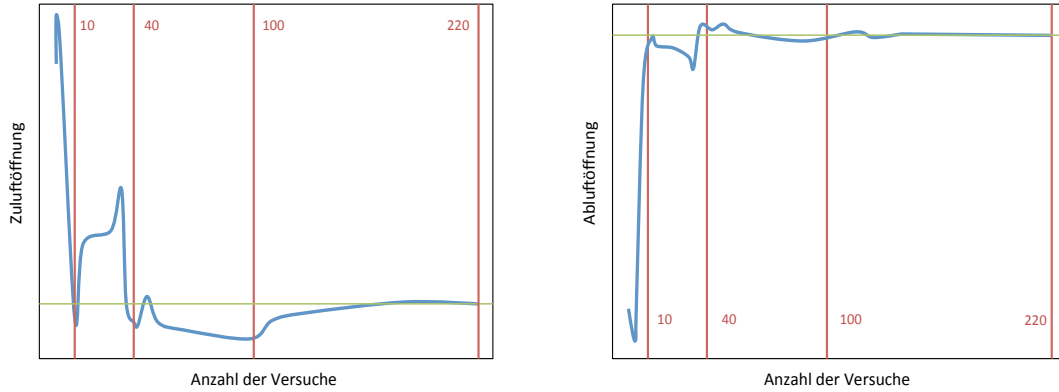


- ▶ quantitative Abhängigkeit der Zielgröße
- ▶ Quantifikation der Abweichung
- ▶ Erklärbarkeit (gelb: Abluftöffnung, lila: Brennerzuluft, grün: Zuluöffnung)



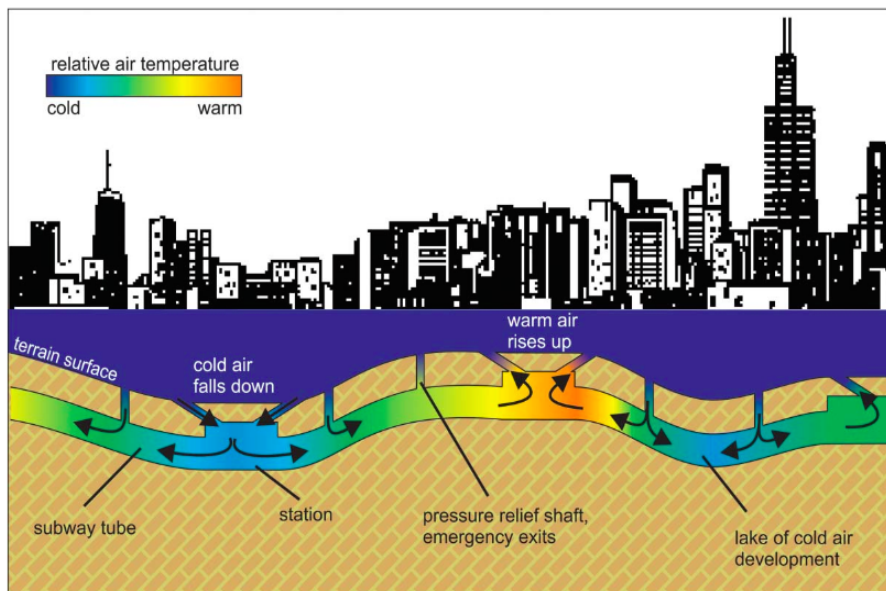
### Beispiel Raumbrand – Konvergenz

Abbildungen sind Nachbildungen der Konvergenzkurven



- ▶ Erweiterung der Samplings von 10 auf 40 auf 100 auf 220
- ▶ sichere Aussagen (< 10%): 105 - 130 Experimente
- ▶ Sparvariante (< 50%): 35 - 40 Experimente

### Unterirdisches Klima

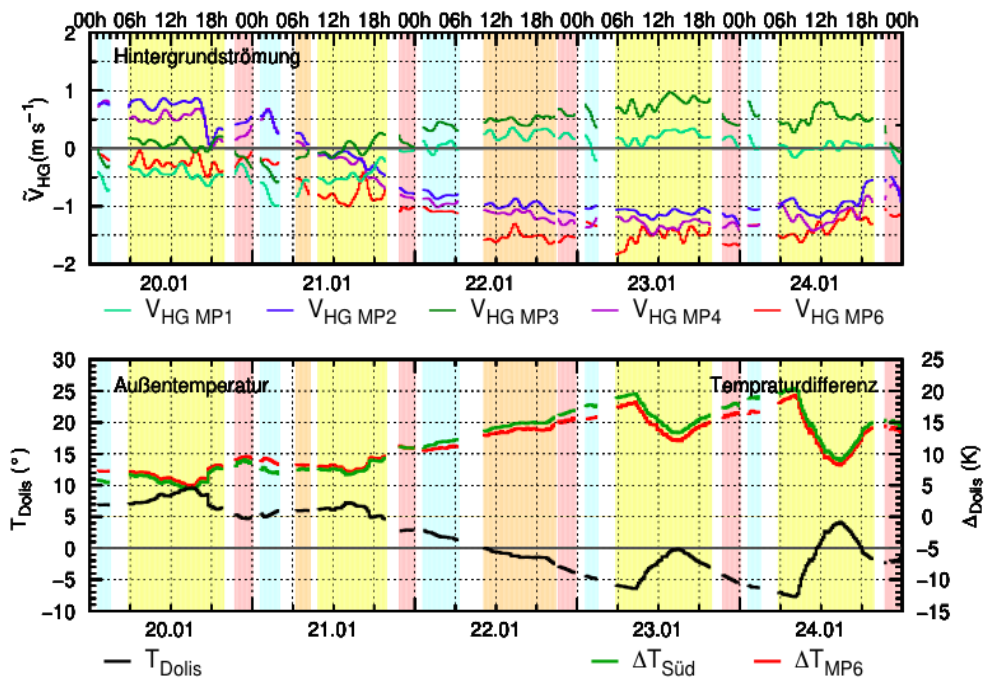


Quelle: Pflitch et al. (2013)

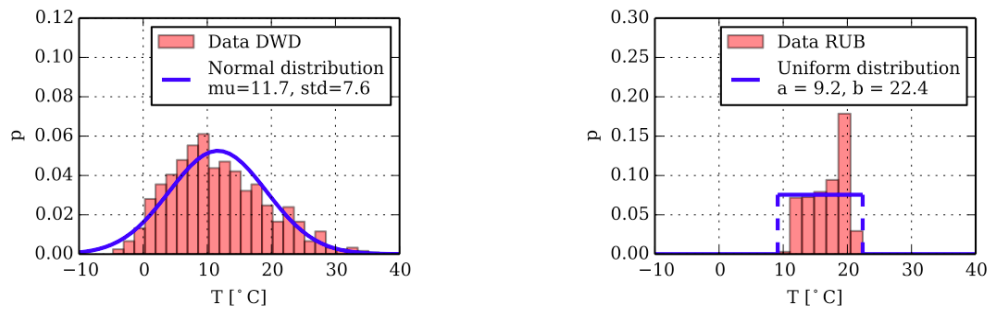
- ▶ komplexe Strömungsnetzwerke aufgrund von Höhenunterschieden und termischen Gegebenheiten
- ▶ unabhängig vom Zugverkehr

### Unterirdische Klima Messungen

Quelle: Brüne (2007)



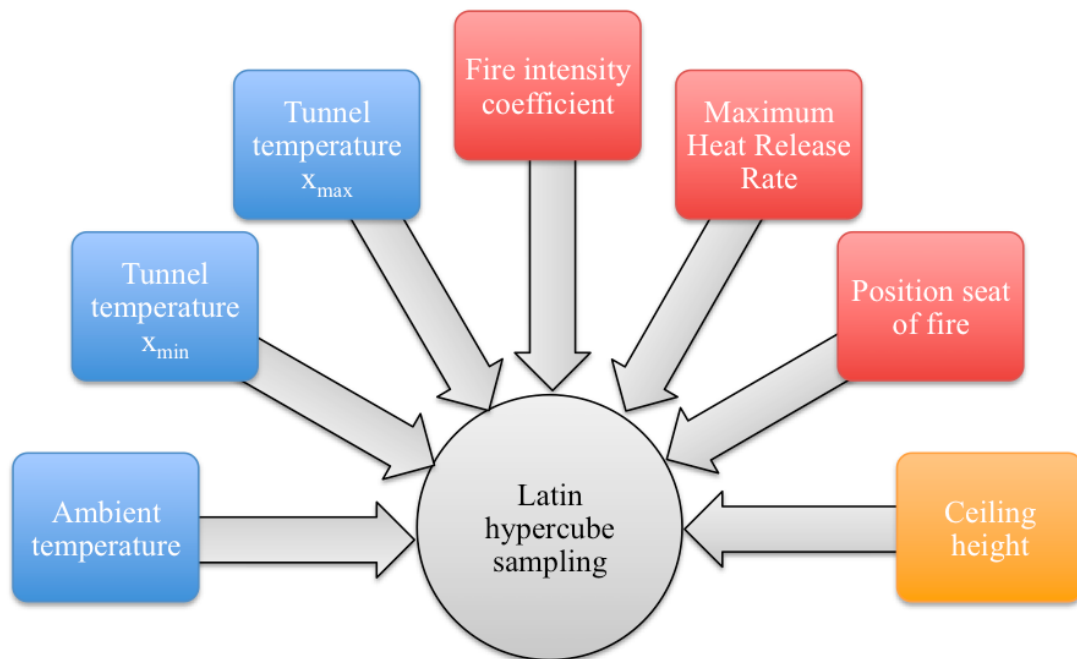
### Unterirdisches Klima



- ▶ Wetterdaten vom Deutschen Wetter Dienst
- ▶ Unterirdisches Wetter von der Ruhr-Universität Bochum



## Variationsparameter



## Automatisierung mit FDSGeoGen (I)

### Motivation

- ▶ FDS nutzt ein absolutes Eingabeformat
- ▶ nur die Variation direkter Parameter einfach möglich
- ▶ Reduktion des Aufwands und der Fehleranfälligkeit

### Ziel

- ▶ relative Eingabe und Schleifen
- ▶ einfaches Parametersampling und Analyse

### FDSGeoGen

- ▶ Konverter von XML-Dateien ins FDS Format
- ▶ einfaches, frei verfügbares Python Skript

## Automatisierung mit FDSGeoGen (II)

Beispiel: Variation der Position der Brandquelle (Box) mit gekoppelter Diagnostik (5 Messstellen)

### direkter Input

- ▶ manuell: Position Raum umrechnen in Position Rechengebiet
- ▶ manuell: 4 Werte für die Brandquelle
- ▶ manuell: 10 Werte für die Messpunkte

### relativer Input

- ▶ "manuell": x und y Position im Raum
- ▶ auto: Umrechnung der Koordinaten
- ▶ auto: Berechnung der Box und Messstellen

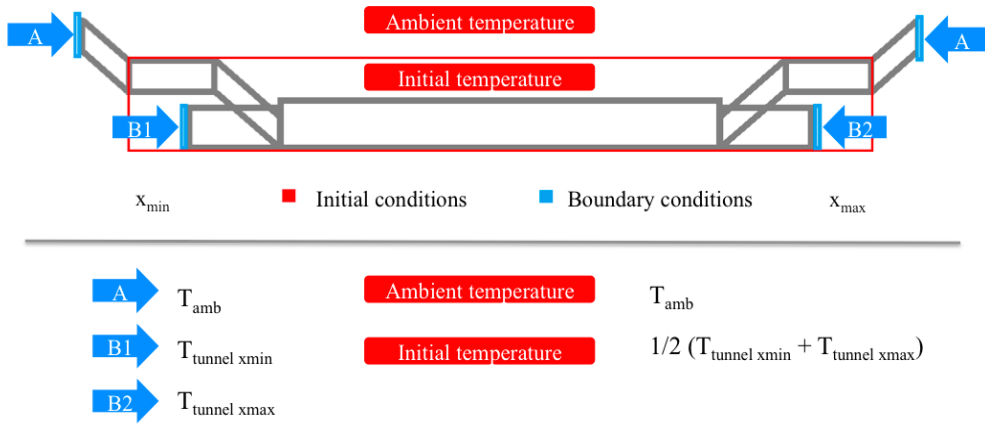
## Automatisierung mit FDSGeoGen (III)

---

```
1 <var room_xpos = "5.5" />
2 <var room_ypos = "1.0" />
3
4 <var box_w = "1.0" />
5
6 <var abs_x1 = "1.5 + room_xpos" />
7
8 [...]
9
10 <obst x1="abs_x1 - box_w/2." x2="abs_x2 + box_w/2." [...] />
11
12 <devc id="T1" x="abs_x1" [...] />
13
14 [...]
```

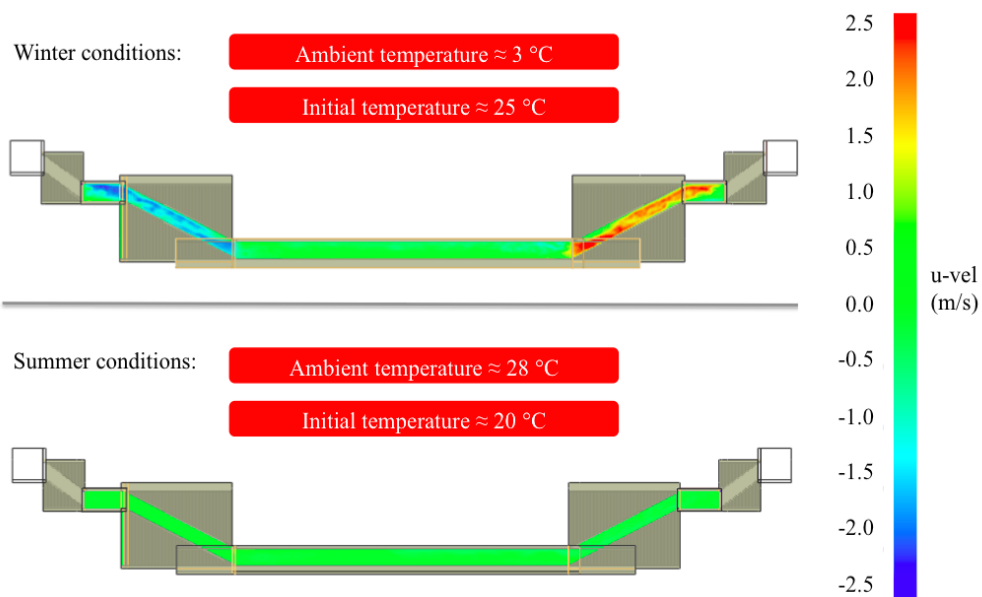
---

### Unterirdisches Klima im FDS Model (I)

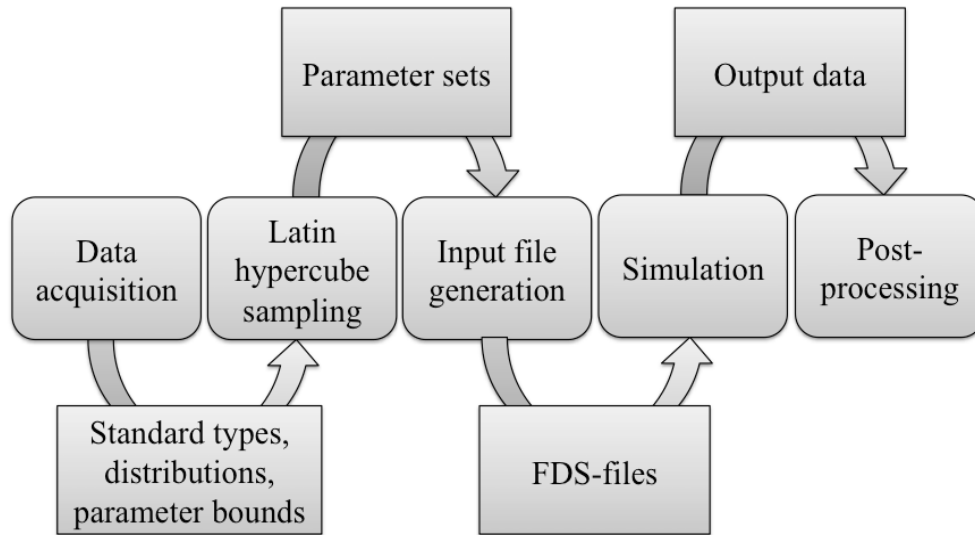


- ▶ RB: Außentemperaturen und Tunneltemperaturen
- ▶ AB: Innentemperatur

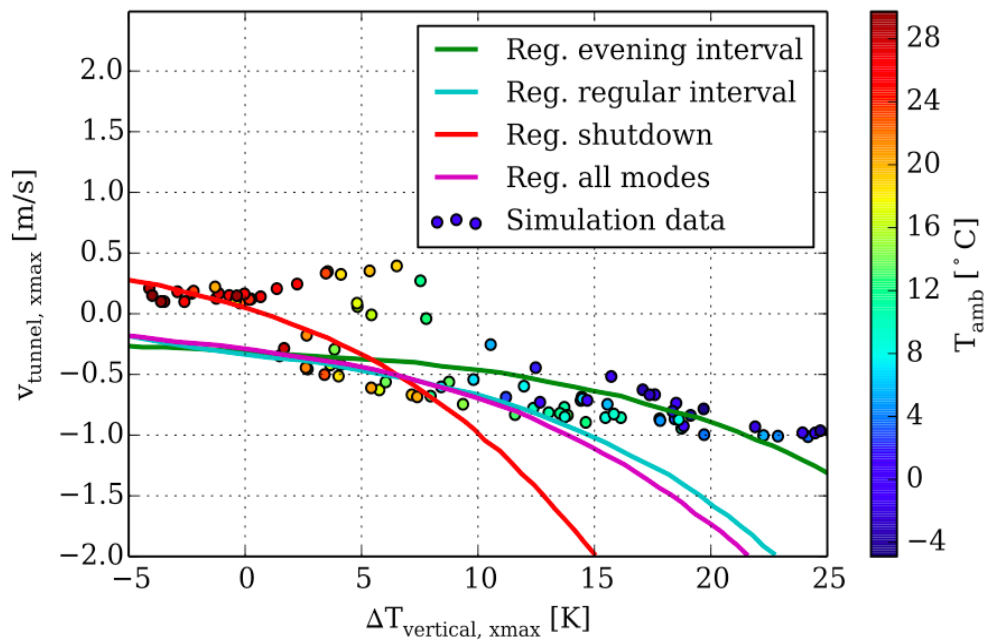
### Unterirdisches Klima im FDS Model (II)



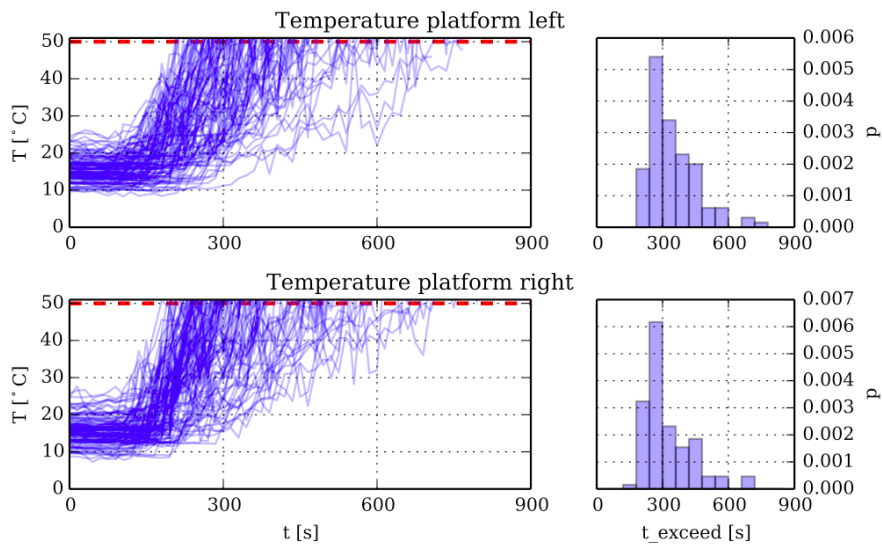
Analyseworkflow



Simuliertes vs. gemessenes Klima

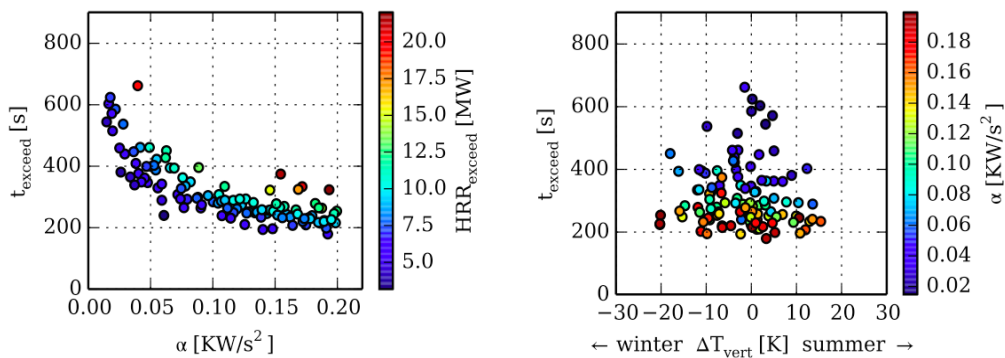


### Rauch und Temperatursausbreitung



- ▶ Zielgröße: Temperatur (50 C°) an ausgewähltem Messpunkt
- ▶ Wahrscheinlichkeitsverteilung der Überschreitszeiten

### Sensitivität der Ergebnisse



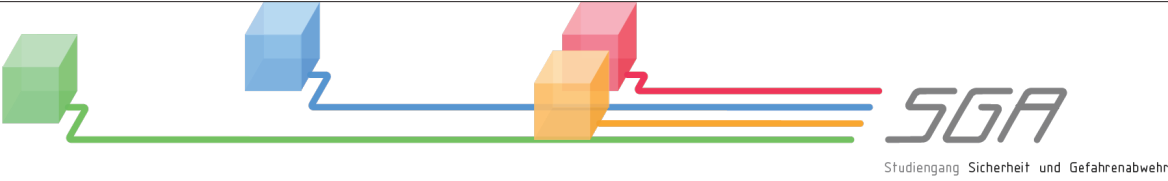
- ▶ qualitative und quantitative Aussagen möglich
- ▶ Datenbasis zur Modellbildung für weitere Analysen

## Zusammenfassung

- ▶ Mittels einer einzigen Simulation kann ein System nur schwer verstanden werden
- ▶ Sensitivitätsanalysen erlauben nicht nur qualitative sondern auch quantitative Aussagen
- ▶ Klima und Wetter Effekte können abgebildet werden
- ▶ "Handarbeit" sollte bei Parameterstudien vermieden werden

Markus Wiezorek

Untersuchungen zur Personensicherheit in rauchbelasteten Rettungswegen - Anwendung der CFD Software FDS zur Quantifizierung der Personensicherheit in horizontalen Rettungswegen






Studiengang Sicherheit und Gefahrenabwehr


# Untersuchungen zur Personensicherheit in rauchbelasteten Rettungswegen

---

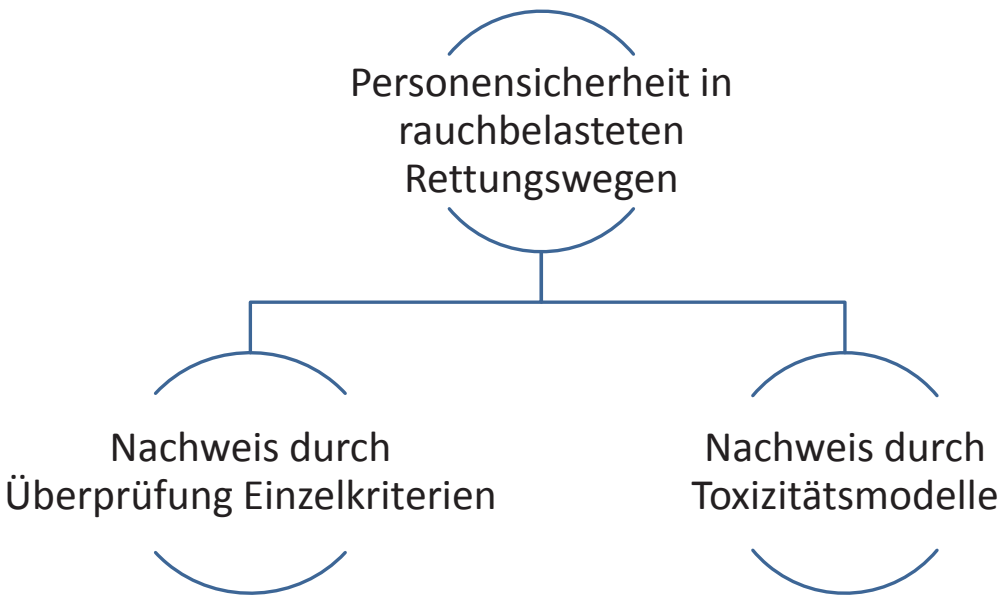
Anwendung der CFD-Software FDS zur Quantifizierung der  
Personensicherheit



# Methodenübersicht



Personensicherheit in rauchbelasteten Rettungswegen



```

graph TD
    A[Personensicherheit in rauchbelasteten Rettungswegen] --> B[Nachweis durch Überprüfung Einzelkriterien]
    A --> C[Nachweis durch Toxizitätsmodelle]
    
```

---

FDS|USERGROUP M. Wiezorek, M.Sc. 2

# Kriterien für Personensicherheit





---

FDS|USERGROUP M. Wiezorek, M.Sc. 3



## Schutzziele



### Einzelkriterien

Tabelle 8.3 Beurteilungsgrößen und Anhaltswerte für quantitative Schutzziele

Beurteilungsgröße	längere Aufenthaltsdauer (< 30 min)	mittlere Aufenthaltsdauer (ca. 15 min)	kurze Aufenthaltsdauer (< 5 min)
CO-Konzentration	100 ppm	200 ppm	500 ppm
CO <sub>2</sub> -Konzentration	1 Vol.-%	2 Vol.-%	3 Vol.-%
HCN-Konzentration <sup>(1)</sup>	8 ppm	16 ppm	40 ppm
Wärmestrahlung	1,7 kW/m <sup>2</sup>	2,0 kW/m <sup>2</sup>	< 2,5 kW/m <sup>2</sup>
Gastemperatur <sup>(2)</sup>	45 °C	50 °C	50 °C
Rauchdichte D <sub>r</sub> <sup>(3)</sup>	0,1 m <sup>-1</sup>	0,1 m <sup>-1</sup> / 0,15 m <sup>-1</sup> <sup>(3)</sup>	0,1 m <sup>-1</sup> / 0,2 m <sup>-1</sup> <sup>(3)</sup>
Erkennungsweite <sup>(4)</sup>	10 m – 20 m	10 m – 20 m	10 m – 20 m

<sup>(1)</sup> Die HCN-Konzentrationen sind starken Streuungen unterworfen. Für typische Brände besteht eine Korrelation mit den CO-/CO<sub>2</sub>-Konzentrationen, wobei hier konservativ ein Verhältnis CO:HCN von 12,5:1 vorausgesetzt wird.

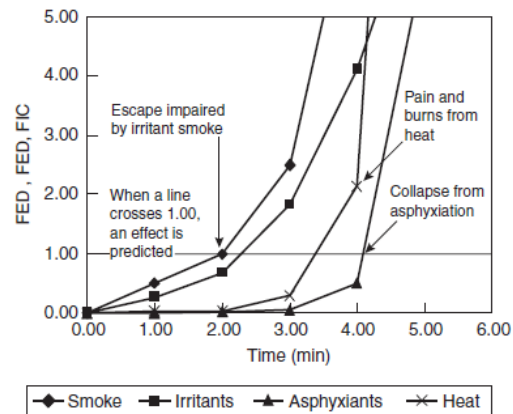
<sup>(2)</sup> Die Gastemperatur bezieht sich auf Luft mit einem Gehalt an Wasserdampf von weniger als 10 Volumenprozent. Die Gastemperatur darf nicht isoliert, ohne gleichzeitige Bewertung der Rauchausbreitung (insbesondere der Rauchdichte) als Beurteilungsgröße für die Personensicherheit herangezogen werden.

<sup>(3)</sup> Der jeweils höhere Anhaltswert kann zur Beurteilung angesetzt werden, wenn der betreffende Bereich übersichtlich strukturiert ist oder die Personen mit den Räumlichkeiten vertraut sind.

<sup>(4)</sup> Die Erkennungsweite ist starken Streuungen unterworfen. Für typische Brände besteht eine Korrelation mit der Rauchdichte D<sub>r</sub>. Näheres dazu siehe Abschnitt 8.3.

<sup>(5)</sup> Unter Zugrundelegung eines massenspezifischen Extinktionskoeffizienten K<sub>ext</sub> = 8,7 m<sup>2</sup>/g ergibt sich (gerundet) für D<sub>r</sub> = 0,1 m<sup>-1</sup> eine Rußkonzentration von 25 mg/m<sup>3</sup> bzw. für D<sub>r</sub> = 0,2 m<sup>-1</sup> von 50 mg/m<sup>3</sup> (siehe Abschnitt 8.2).

### Toxizitätsmodelle



#### Single Armchair Room Burn

Purser: Toxicity Assessment of Combustion Products, SFPE Handbook of Fire Protection Engineering

## Fragestellungen

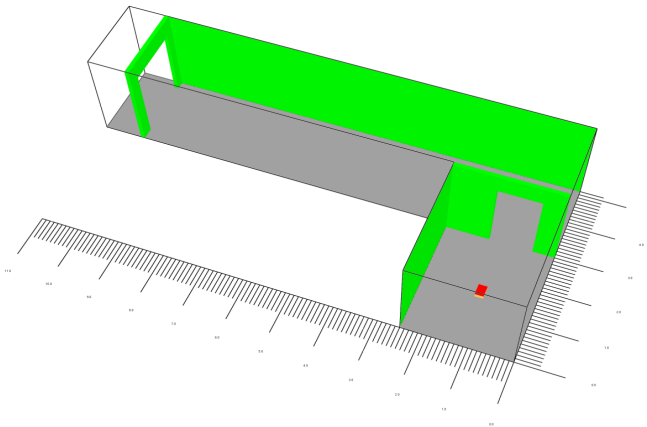


- Welches Modell anwenden?
  - Kann die Kombinationswirkung schädigender Einflüsse vernachlässigt werden?
  - Ansatz  $OD \leq 0,1 \text{ m}^{-1}$  (bzw.  $0,15 \text{ m}^{-1}$ ,  $0,20 \text{ m}^{-1}$ ) als primäres Schutzzielkriterium?
  - Ist man mit dem Nachweis der Personensicherheit durch Brandsimulationsberechnungen stets im konservativen Bereich (Modellunsicherheiten)?

## Versuchsszenario



- Entstehungsbrand (<100 kW Leistung)
- Brandstoffe entsprechen Wohnungsnutzung



## Datengewinnung



Elementaranalyse



Bombenkalorimeter



Cone-Kalorimeter



Aschegehalt

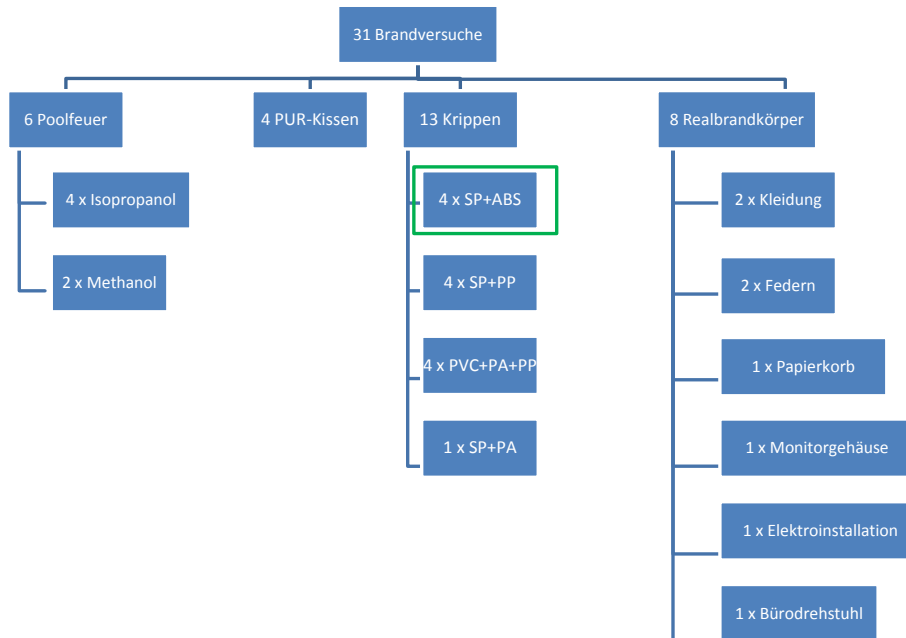


Feuchtegehalt



Vorversuche

## Brandversuche



## BEWERTUNG DER PERSONENSICHERHEIT

## Berechnungsmodelle



### a) FED-Modell:

$$FED_{gesamt}(t) = \max \left[ \sum_0^t (F_{CO}(t) + F_{HCN}(t) + F_{LD_{irr}}(t)) \cdot V_{Hyp}(t) + F_{O_2}(t), \sum_0^t F_{CO_2}(t) \right]$$

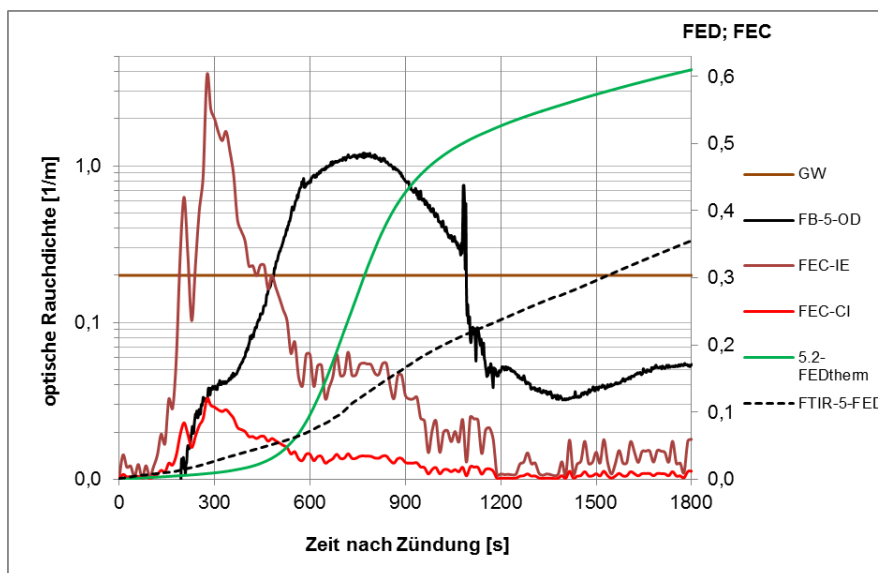
### b) FEC-Modell (*IE = Impair Escape / CI = Cause Incapacitation*):

$$FEC_{irr}(t) = \frac{c_{HCl}(t)}{F_{HCl}} + \frac{c_{SO_2}(t)}{F_{SO_2}} + \frac{c_{NO_2}(t)}{F_{NO_2}} + \frac{c_{CH_2CHCHO}(t)}{F_{CH_2CHCHO}} + \frac{c_{HCHO}(t)}{F_{HCHO}}$$

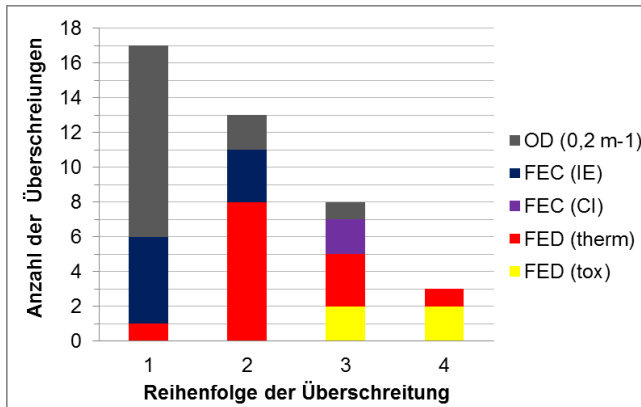
### c) thermisches FED-Modell:

$$FED_{thermisch} = \sum \left( \frac{\Delta t}{\tau_{conv}} \right)$$

## Auswertung durch tox. Modelle



## Zwischenfazit



- $OD \leq 0,1 \text{ m}^{-1}$  ist primäres Schutzzielkriterium bestätigt
- FEC (IE) relevant aber aufgrund konservativer Annahme weniger schwer zu wichten
- Nachweis Einzelkriterium  
→ **FDS-Simulation**

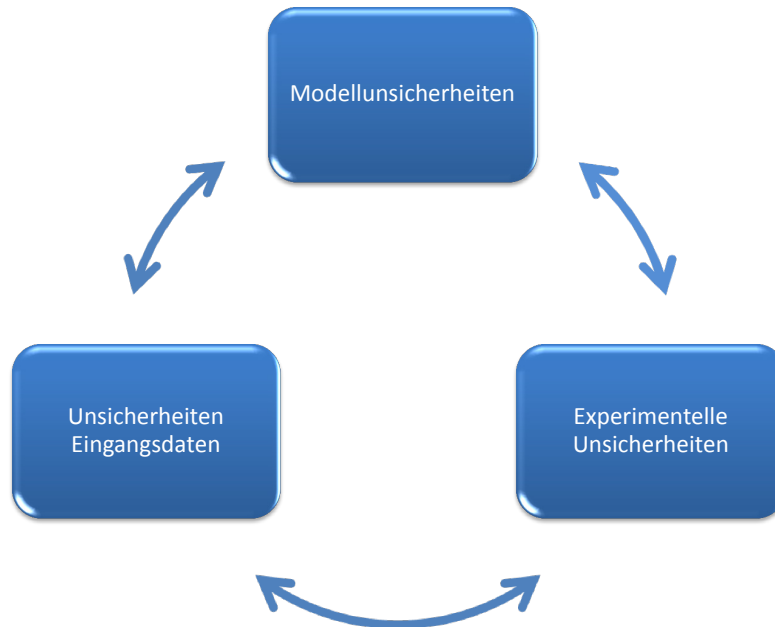
## FDS6-Modell



Bausteine für eine hochwertige FDS-Nachsimulation:

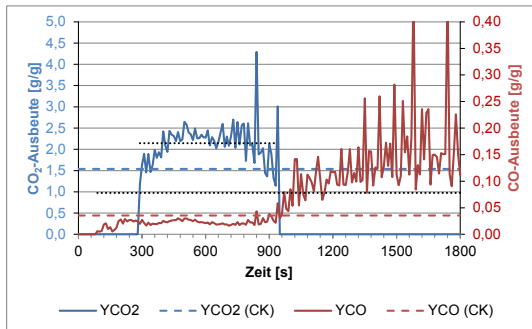
- Gitter-Sensitivitätsanalyse
- FDS-konforme Umsetzung der Geometrie
- genaue Kenntnis Umgebungsbedingungen
- Umfangreiche Voruntersuchung der Brandstoffe
- Implementierung der Messgeräteparameter

## Unsicherheiten

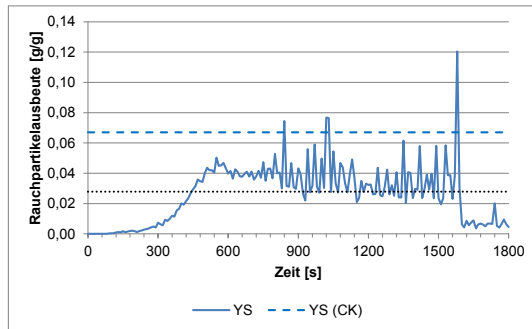


## VERGLEICH AUSBEUTEN CONE-CALORIMETER-UNTERSUCHUNGEN UND REALBRANDVERSUCH

# Ausbeuten



**Ausbeuten narkotisierender Gase**

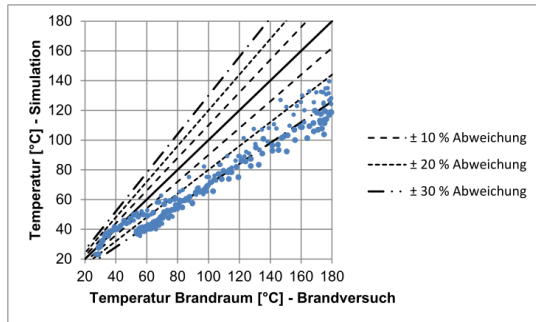


**Rauchpartikelausbeuten**

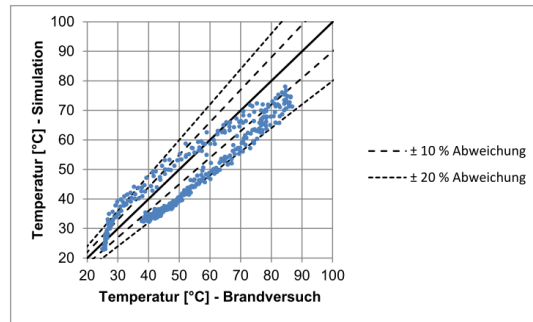


# Vergleich Messwerte Brandversuch und Nachsimulation

# ABS+SP-Mischkrippe

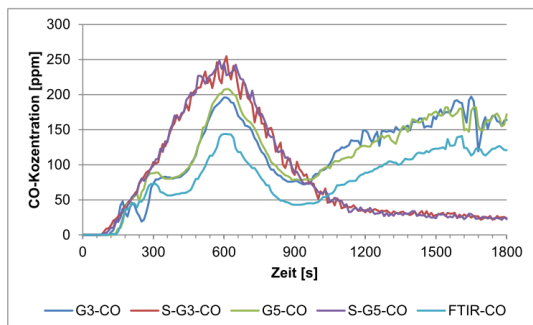


Temperatur unter Brandraumdecke

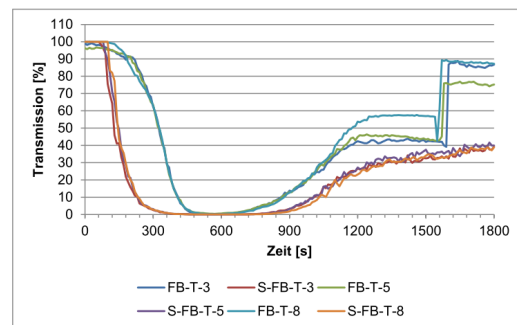


Temperatur Personensicherheit

# ABS+SP-Mischkrippe



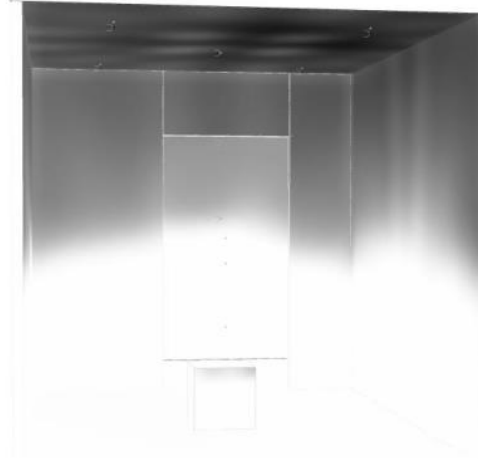
Kohlenmonoxid



Transmission



## Rußablagerungsmodell



## Fazit und Ausblick



- aus FDS-Simulationen resultieren:
  - i.R. konservative Ergebnisse für das Schutzziel optische Dichte
  - zu niedrige Temperaturen
- Neuerungen FDS 6
  - neues Stöchiometriemodell mit hohem Nutzwert
  - Rußablagerungsmodell noch nicht nutzbar
- Datensätze der Brandversuche weisen weiteres Potenzial auf

Betreuung, Unterstützung, Förderung



Und viele andere mehr - herzlichen Dank!

Prof. Dr. Kathrin Grewolls

Sensitivitätsuntersuchungen mit FDS-EVAC auf Basis von Latin-Hypercube-Sampling

Introduction ○○○○ ○○○○○○○	Vorstudie: FDS/Evac ○○○○○○○ ○○○	Mehrraum-Testmodell ○○○○○ ○○	Zusammenfassung
---------------------------------	---------------------------------------	------------------------------------	-----------------

## Sensitivity Analysis of Evacuation Simulations

### Sensitivitätsuntersuchungen mit FDS-Evac auf Basis von Latin-Hypercube-Sampling

Dr. Gerald Grewolls, Prof. Dr. Kathrin Grewolls

SIMTEGO GmbH

07. November 2014, FDS usergroup Berlin



Computersimulation & Optimierung




Verein zur Förderung von Ingenieurmethoden im Brandschutz




dynamic software & engineering



Dr. Gerald Grewolls, Prof. Dr. Kathrin Grewolls
SIMTEGO GmbH

<p>Introduction ○○○○ ○○○○○○</p>	<p>Vorstudie: FDS/Evac ○○○○○○ ○○○</p>	<p>Mehrraum-Testmodell ○○○○○ ○○</p>	<p>Zusammenfassung</p>
<h2 style="color: #4a7ebb;">Inhalt</h2>			
<h3 style="color: #4a7ebb;">Introduction</h3> <p>Projekt Grundlagen der probabilistischen Sensitivitätsanalyse</p>			
<h3 style="color: #4a7ebb;">Vorstudie: FDS/Evac</h3> <p>Vormodell 1: Einraum-Modell Vormodell 2: Raum mit Flur</p>			
<h3 style="color: #4a7ebb;">Mehrraum-Testmodell</h3> <p>Pathfinder-Simulation FDS/Evac-Simulation</p>			
<h3 style="color: #4a7ebb;">Zusammenfassung</h3>			
			
Dr. Gerald Grewolls, Prof. Dr. Kathrin Grewolls		SIMTEGO GmbH	

<p>Introduction ●○○○ ○○○○○○</p>	<p>Vorstudie: FDS/Evac ○○○○○○ ○○○</p>	<p>Mehrraum-Testmodell ○○○○○ ○○</p>	<p>Zusammenfassung</p>
<h2 style="color: #4a7ebb;">Projekt:</h2> <h3 style="color: #4a7ebb;"><i>„Sensitivity Analysis of Evacuation Simulations“</i></h3>			
<h3 style="color: #4a7ebb;">Objective</h3> <p><b>Ziel:</b> Erhöhung der Qualität von Evakuierungssimulationen - besseres Verständnis der Wirkung von Modellparametern</p>			
<h3 style="color: #4a7ebb;">Project Participants</h3> <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Verein zur Förderung der Ingenieurmethoden im Brandschutz (ViB) e.V.: Funding</li> <li>▶ SIMTEGO GmbH: Durchführung</li> <li>▶ dynardo GmbH: Software optiSLang, Training, Support</li> </ul>			
			
Dr. Gerald Grewolls, Prof. Dr. Kathrin Grewolls		SIMTEGO GmbH	

Introduction ○○●○ ○○○○○○○	Vorstudie: FDS/Evac ○○○○○○○ ○○○	Mehrraum-Testmodell ○○○○○ ○○	Zusammenfassung
---------------------------------	---------------------------------------	------------------------------------	-----------------

Projekt

## Motivation and Background

Ziel: Vertieftes Modelverständnis durch stochastische Sensitivitätsanalysen.

- ▶ Welche Modellparameter haben den größten Einfluß?
- ▶ Welchen Einfluß haben Raumgeometrien im Vergleich zu Personeneigenschaften?
- ▶ Sind signifikante Fehler im Ergebnis zu befürchten, wenn Eingabeparameter nicht genau bekannt sind?

Dr. Gerald Grewolls, Prof. Dr. Kathrin Grewolls

SIMTEGO GmbH

Introduction ○○●○ ○○○○○○○	Vorstudie: FDS/Evac ○○○○○○○ ○○○	Mehrraum-Testmodell ○○○○○ ○○	Zusammenfassung
---------------------------------	---------------------------------------	------------------------------------	-----------------

Projekt

## Testmodelle

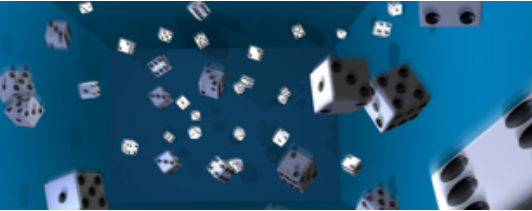
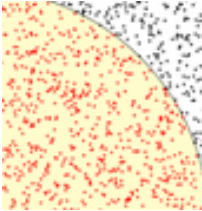
### Projektdurchführung

- ▶ **Voruntersuchung:** Einraummodell mit / ohne Flur
- ▶ **Aktuelle Studie:** Mehrraummodell verbunden über Flure
- ▶ **Parameter:** Anzahl und Eigenschaften der Personen, Ausgangsbreiten, Flurlänge und -breite

Dr. Gerald Grewolls, Prof. Dr. Kathrin Grewolls

SIMTEGO GmbH

Introduction ○○○● ○○○○○○	Vorstudie: FDS/Evac ○○○○○○ ○○○	Mehrraum-Testmodell ○○○○ ○○	Zusammenfassung
Projekt			
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <h2 style="color: #4a69bd;">Testmodell</h2> <h3 style="color: #4a69bd;">Test model: Geometry and Setup</h3> <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Mehrraummodell auf einer Ebene                             <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Lange Flure</li> <li>▶ Verschiedene Ausgänge</li> <li>▶ Mehrere Fluchtwege wählbar</li> </ul> </li> </ul> </div> <div style="width: 50%; text-align: center;"> </div> </div>			
Dr. Gerald Grewolls, Prof. Dr. Kathrin Grewolls			SIMTEGO GmbH

Introduction ○○○○ ●○○○○○	Vorstudie: FDS/Evac ○○○○○○ ○○○	Mehrraum-Testmodell ○○○○ ○○	Zusammenfassung
Grundlagen der probabilistischen Sensitivitätsanalyse			
<h2 style="color: #4a69bd;">Probabilistische Sensitivitätsanalyse</h2> <h3 style="color: #4a69bd;">Ursprung: Monte-Carlo-Methode</h3> <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Bildung von Stichproben oder Varianten (engl. samples) durch zufällige Wahl von Eingangsparametern</li> <li>▶ Berechnung sehr vieler Varianten (oft mehr als 10.000 erforderlich) für ein statistisch sicheres Ergebnis</li> </ul> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 20px;">   </div>			
Dr. Gerald Grewolls, Prof. Dr. Kathrin Grewolls			SIMTEGO GmbH

Introduction

○○○○

○●○○○○

Vorstudie: FDS/Evac

○○○○○○○

○○○

Mehrraum-Testmodell

○○○○○

○○○

Zusammenfassung

Grundlagen der probabilistischen Sensitivitätsanalyse

## Probabilistische Sensitivitätsanalyse

### Weiterentwicklung: Latin-Hypercube-Sampling (LHS)

- ▶ Erzeugung von plausiblen Variablenkombinationen aus einer multidimensionalen Verteilung
- ▶ vollständige Abdeckung der Wertebereiche jeder Variablen
- ▶ starke Reduktion der Anzahl der erf. Varianten, auf z.B. 100 – 200

		14		0							9							16
						5		10						10				14
1	11	13			7		8						8	9	10			13
				12		3	1	14										
4					9	2	15	16								3		7

Dr. Gerald Grewolls, Prof. Dr. Kathrin Grewolls

SIMTEGO GmbH

Introduction

○○○○

○●○○○○

Vorstudie: FDS/Evac

○○○○○○○

○○○

Mehrraum-Testmodell

○○○○○

○○○

Zusammenfassung

Grundlagen der probabilistischen Sensitivitätsanalyse

## Durchführung: Sensitivitätsstudie

**Vorbereitung:** Modellerstellung,

Def. Parameter inkl. Schwankungsbereich

**Schritt 1:** Aufteilung des Wertebereichs einesjeden Eingabeparameters in  $N$  Intervalle mit

gleicher Auftretenswahrscheinlichkeit

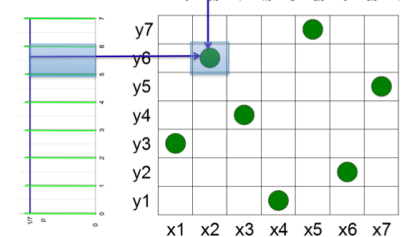
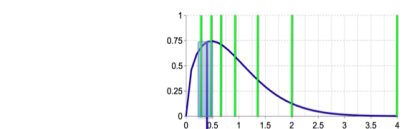
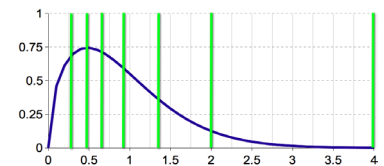
**Schritt 2:** Entnahme jeweils eines Wertes

aus jedem Intervall (Eingabeparameter)

**Schritt 3:** Durchführung von  $N$  Berechnungen

mit Eingabeparametern aus jeweils

unterschiedlichen Intervallen



Dr. Gerald Grewolls, Prof. Dr. Kathrin Grewolls

SIMTEGO GmbH

Introduction      Vorstudie: FDS/Evac      Mehrraum-Testmodell      Zusammenfassung

○○○○      ○○○○○○      ○○○○      ○○○○

○○○○○○○      ○○

Grundlagen der probabilistischen Sensitivitätsanalyse

### Schritt 3: Latin-Hypercube-Sampling mit optiSLang

Parameterübergabe zwischen optiSLang und FDS-Evac:

- ▶ Verknüpfung von OptiSLang mit der FDS-Evac-Muster-Datei
- ▶ Verlinkung der Parameter
- ▶ Definition der Schwankungsbreiten und der Intervall-Anzahl  $N$

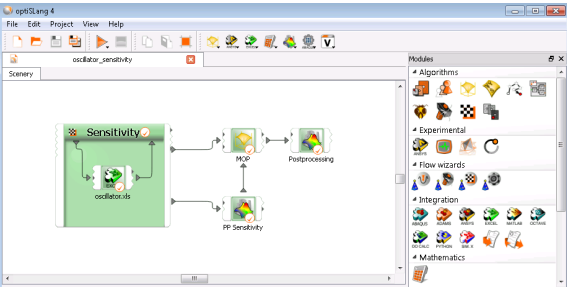


Bild: Dynardo, OptiSLang 4

Dr. Gerald Grewolls, Prof. Dr. Kathrin Grewolls      SIMTEGO GmbH

Introduction      Vorstudie: FDS/Evac      Mehrraum-Testmodell      Zusammenfassung

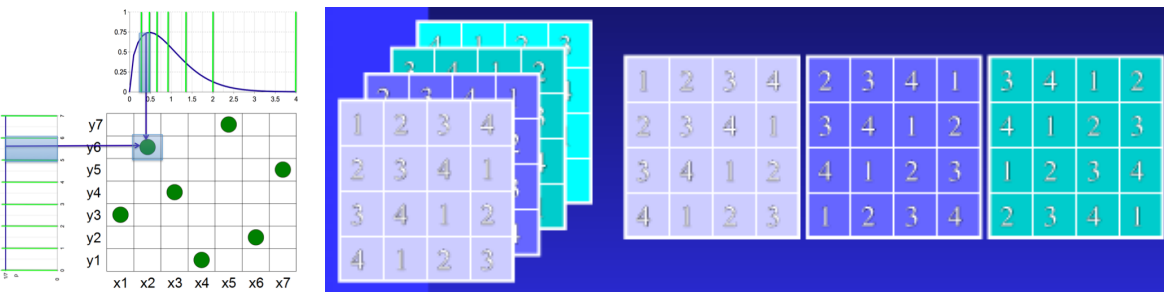
○○○○      ○○○○○○      ○○○○      ○○○○

○○○○○○○      ○○

Grundlagen der probabilistischen Sensitivitätsanalyse

### Schritt 3: Latin-Hypercube-Sampling mit optiSLang

- ▶ Parameterbereiche werden in  $N$  Intervalle zerlegt
- ▶ Zufällige Wahl einer Variablen pro Intervall
- ▶ Bildung von  $N$  Input-Varianten aus jeweils einem Parameter



Darstellung von order 4 latin cubes von Jerzy Wojdło

Dr. Gerald Grewolls, Prof. Dr. Kathrin Grewolls      SIMTEGO GmbH



Introduction ○○○○ ○○○○○○●	Vorstudie: FDS/Evac ○○○○○○○ ○○○	Mehrraum-Testmodell ○○○○○ ○○○	Zusammenfassung
---------------------------------	---------------------------------------	-------------------------------------	-----------------

Grundlagen der probabilistischen Sensitivitätsanalyse

## Schritt 3: Latin-Hypercube-Sampling mit optiSLang

- ▶ Übergabe der  $N$  Input-Varianten an FDS-Evac
- ▶ Start von  $N$  FDS-Evac-Simulationen
- ▶ Auslesen der verschiedenen Ausgabegrößen
- ▶ Berechnung zusätzlicher Auswertegrößen
- ▶ graphische Aufbereitung der Ergebnisse

Die Ergebnisse enthalten die berechneten Werte  
für alle vorher definierten  
**Ausgabeparameter aller Varianten.**

Dr. Gerald Grewolls, Prof. Dr. Kathrin Grewolls

SIMTEGO GmbH

Introduction ○○○○ ○○○○○○●	Vorstudie: FDS/Evac ○○○○○○○ ○○○	Mehrraum-Testmodell ○○○○○ ○○○	Zusammenfassung
---------------------------------	---------------------------------------	-------------------------------------	-----------------

Grundlagen der probabilistischen Sensitivitätsanalyse

## Schritt 4: Auswertung mit optiSLang

- ▶ **lineare und quadratische Korrelationskoeffizienten** zwischen Eingangs- und Ausgangsparametern, verschiedenen Eingangsparametern und verschiedenen Ausgangsparametern
- ▶ **Coefficient of Importance (CoI)**: gibt an, welcher Anteil der Varianz eines Ausgangsparameters durch die Varianz eines Eingangsparameters erklärbar.
- ▶ **Coefficient of Determination (CoD)**: Bestimmtheitsmaß
- ▶ **Coefficient of Optimal Prognosis (CoP)**: gibt an, wie gut das Modell für Vorhersagen geeignet ist und kann als Indikator für Modell- und Eingabefehler benutzt werden

Dr. Gerald Grewolls, Prof. Dr. Kathrin Grewolls

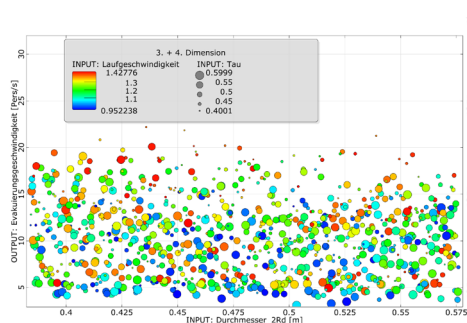
SIMTEGO GmbH

## Schritt 2: Festlegung des Schwankungsbereiches

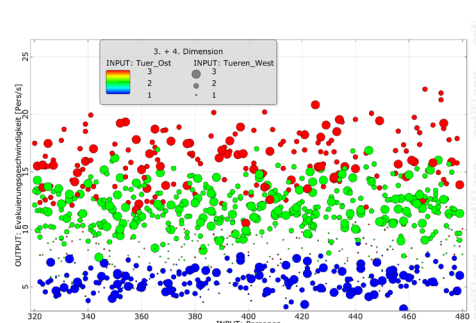
Name	Min	Max	Mittel	Std.-Abw.	Kovarianz
Tuer_Ost	1	3	2.00	0.71	0.35
Tueren_West	1	3	2.00	0.71	0.35
Personen	320	480	400	46.20	0.12
Durchmesser_2Rd	0.384	0.576	0.480	0.06	0.12
Laufgeschwindigkeit	0.952	1.428	1.19	0.14	0.12
Tau	0.4	0.6	0.50	0.06	0.12
FCONST_A	1600	2400	2000	230.9	0.12
FCONST_B	0.064	0.096	0.08	0.01	0.12
L_NON_SP	0.4	0.6	0.50	0.06	0.12
C_YOUNG	96024	143976	1.20E+05	1.39E+04	0.12
KAPPA	32008	47992	4.00E+04	4.62E+03	0.12
TAU_ROT	0.16	0.24	0.20	0.02	0.12
M_INERTIA	3.20	4.80	4.00	0.46	0.12
Wandfaktor_Aw	3201	4799	4000	462.1	0.12
Wandfaktor_Bw	0.064	0.096	0.08	0.0092	0.12
FC_Daempfung	0.040	0.060	0.05	0.0058	0.12
Winkelgeschwindigkeit	0.800	1.200	1.0	0.1154	0.12
Lambda_Wand	0.080	0.120	0.1	0.0116	0.12

### Vormodell 1: Einraum-Modell

## Darstellung der FDS-Evac-Ergebnisse als Anthill-Plot:



**Evakuierungs-  
geschwindigkeit in  
Abhängigkeit von den  
Eingabeparametern  
Tau und Laufgeschwindigkeit**



**Evakuierungsgeschwindigkeit  
in Abhängigkeit von den  
Eingabeparametern  
Breite der Türen Ost und  
West**

Introduction ○○○○  
 ○○○○○○

Vorstudie: FDS/Evac ○●○○○○  
 ○○○

Mehrraum-Testmodell ○○○○  
 ○○

Zusammenfassung

Vormodell 1: Einraum-Modell

## Matrix der Korrelationskoeffizienten

Darstellung der Korrelationskoeffizienten zwischen der **Evakuierungsgeschwindigkeit** (Ausgabe) und der **Breite der Tür Ost** (Eingabeparameter)

INPUT: Tuer\_Ost vs. OUTPUT: Evakuierungsgeschwindigkeit,  $r = 0.760$

Ausgangsparameter Nr. 2 4 6 8 10 12 14 16 18 20

Eingangsparameter Nr. 2 4 6 8 10 12 14 16 18 20

Dr. Gerald Grewolls, Prof. Dr. Kathrin Grewolls SIMTEGO GmbH

Introduction ○○○○  
 ○○○○○○

Vorstudie: FDS/Evac ○●○○○○  
 ○○○

Mehrraum-Testmodell ○○○○  
 ○○

Zusammenfassung

Vormodell 1: Einraum-Modell

## Coefficient of Importance (CoI)

Ergebnisse für CoI:

Laufgeschwindigkeit: 7 %  
 Tür\_West: 10 %  
 Tür\_Ost: 58 %

Coefficient of Importance (linear)  
 full model: adjusted R<sup>2</sup> = 82 %

INPUT parameter	adjusted CoI [%] of OUTPUT: Evakuierungsgeschwindigkeit
INPUT: M_INERTIA	-0 %
INPUT: FCONST_A	0 %
INPUT: Personen	0 %
INPUT: FCONST_B	1 %
INPUT: Durchmesser_2Rd	1 %
INPUT: L_NON_SP	2 %
INPUT: Tau	3 %
INPUT: Laufgeschwindigkeit	7 %
INPUT: Tueren_West	10 %
INPUT: Tuer_Ost	58 %

adjusted CoI [%] of OUTPUT: Evakuierungsgeschwindigkeit

Dr. Gerald Grewolls, Prof. Dr. Kathrin Grewolls SIMTEGO GmbH

Der **CoI** gibt an, welcher Anteil der Varianz in der **Evakuierungsgeschwindigkeit** durch die Varianz jeweils **eines** Eingangsparameters erklärbar ist.

Introduction ○○○○  
 ○○○○○○

Vorstudie: FDS/Evac ○○○●○○○  
 ○○○

Mehrraum-Testmodell ○○○○○  
 ○○

Zusammenfassung

Vormodell 1: Einraum-Modell

## Coefficient of Determination (CoD)

CoD = 80% (wesentliche Zusammenhänge über die Korrelationshypthesen abgebildet)

bisher nicht erklärbare Variation: 20 %  
 (mgl. Ursache: numerisches Rauschen)

Coefficient of Determination (linear)  
 full model: adjusted R<sup>2</sup> = 80 %

Das **Bestimmtheitsmaß (CoD)** der **Evakuierungsgeschwindigkeit** gibt an, wieviel Prozent der Variation dieser über die Korrelationen zu **allen** Eingangsgrößen erklärt werden kann.

Dr. Gerald Grewolls, Prof. Dr. Kathrin Grewolls SIMTEGO GmbH

Introduction ○○○○  
 ○○○○○○

Vorstudie: FDS/Evac ○○○●○○○  
 ○○○

Mehrraum-Testmodell ○○○○○  
 ○○

Zusammenfassung

Vormodell 1: Einraum-Modell

## Metamodel of Optimal Prognosis (MOP)

Beispiel:  
*Evakuierungsgeschwindigkeit*

- ▶ zufällige Auswahl von 70% der vorh. Ergebnisse
- ▶ Approximation mit *Moving-Least-Squares (MLS)*
- ▶ Berechnung einer *Response Surface (Antwortfläche)*

MLS approximation of Evakuierungsgeschwindigkeit  
 Coefficient of Prognosis = 95 %

Der **CoP** von 95 % gibt an, daß die restlichen 30 % der Ergebnisse gut durch dieses Metamodell vorhersagbar sind.

Dr. Gerald Grewolls, Prof. Dr. Kathrin Grewolls SIMTEGO GmbH

Introduction: ○○○○  
 Vorstudie: FDS/Evac: ○○○○○●  
 Mehrraum-Testmodell: ○○○○  
 Zusammenfassung: ○○

Vormodell 1: Einraum-Modell

## Metamodel of Optimal Prognosis (MOP)

MLS approximation of Evakuierungsgeschwindigkeit  
 Coefficient of Prognosis = 95 %

Diskussion des MOP für die Evakuierungsgeschwindigkeit

- ▶ Einfluß der Breite der Tür\_Ost abhängig von der Breite der Türen West
- ▶ kleiner Einfluß der Breite der Tür\_West

Dr. Gerald Grewolls, Prof. Dr. Kathrin Grewolls SIMTEGO GmbH

Introduction: ○○○○  
 Vorstudie: FDS/Evac: ○○○○○●  
 Mehrraum-Testmodell: ○○○○  
 Zusammenfassung: ○○

Vormodell 1: Einraum-Modell

## Coefficient of Prognosis (CoP)

Basis: Vergleich der Ergebnisse 30% vrs. MOP-Berechnung.

Ausgangsparameter	Tuer_Ost	Tueren_West	Personen	Durchmesser_2Std	Laufgeschwindigkeit	Tau	L_NON_SP	Total
Evakuierungsgeschwindigkeit	72.3 %	10.0 %	4.4 %	0.5 %	6.1 %	3.4 %	2.1 %	94.9 %
Evak_Zeit	69.2 %	21.3 %			7.7 %	3.1 %	2.7 %	94.8 %

Der **CoP (Koeffizient für eine optimalen Prognose)** bewertet die Vorhersagefähigkeit des verwendeten Simulationsmodells.

Dr. Gerald Grewolls, Prof. Dr. Kathrin Grewolls SIMTEGO GmbH

Introduction ○○○○  
 ○○○○○○

Vorstudie: FDS/Evac ○○○○○○  
 ●○○

Mehrraum-Testmodell ○○○○  
 ○○

Zusammenfassung

Vormodell 2: Raum mit Flur

## Darstellung der FDS-Evac-Ergebnisse als Anthill-Plot:

**Evakuierungsgeschwindigkeit in Abhängigkeit von den Eingabeparametern Laufgeschwindigkeit und Breite der Tür 1**

3. Dimension  
 INPUT: Tuer1  
 3  
 2  
 1

OUTPUT: Evakuierungsgeschwindigkeit

INPUT: Laufgeschwindigkeit

Dr. Gerald Grewolls, Prof. Dr. Kathrin Grewolls

SIMTEGO GmbH

Introduction ○○○○  
 ○○○○○○

Vorstudie: FDS/Evac ○○○○○○  
 ●○○

Mehrraum-Testmodell ○○○○  
 ○○

Zusammenfassung

Vormodell 2: Raum mit Flur

## Coefficient of Importance (Col)

Ergebnisse für Col:

Laufgeschwindigkeit: 28 %  
 Tür (Raum): 24 %  
 Tür (Flur): 13 %

Coefficient of Importance (linear)  
 full model: adjusted R<sup>2</sup> = 86 %

INPUT parameter	adjusted CoI [%]
INPUT: TAU_ROT	0 %
INPUT: KAPPA	0 %
INPUT: Tuer2_xmin	1 %
INPUT: Personen	3 %
INPUT: Tau	4 %
INPUT: FCONST_B	5 %
INPUT: L_NON_SP	6 %
INPUT: Tuer2	13 %
INPUT: Tuer1	24 %
INPUT: Laufgeschwindigkeit	28 %

adjusted CoI [%] of OUTPUT: Evakuierungsgeschwindigkeit

Der **Col** gibt an, welcher Anteil der Varianz in der **Evakuierungsgeschwindigkeit** durch die Varianz jeweils **eines** Eingangsparameters erklärbar ist.

Dr. Gerald Grewolls, Prof. Dr. Kathrin Grewolls

SIMTEGO GmbH

Introduction ○○○○  
 ○○○○○○

Vorstudie: FDS/Evac ○○○○○○  
 ○○○○

Mehrraum-Testmodell ○○○○  
 ○○

Zusammenfassung

Vormodell 2: Raum mit Flur

## Coefficient of Determination (CoD)

CoD = 86% (wesentliche Zusammenhänge über die Korrelationshypthesen abgebildet)

bisher nicht erklärbare Variation: 14 %  
 (mgl. Ursache: numerisches Rauschen, Programmfehler)

Coefficient of Determination (linear)  
 full model: adjusted R<sup>2</sup> = 86 %

INPUT parameter	adjusted R <sup>2</sup> [%]
INPUT: Laufgeschwindigkeit	28 %
INPUT: Tuer1	23 %
INPUT: Tuer2	14 %
INPUT: L_NON_SP	6 %
INPUT: FCONST_B	5 %
INPUT: Tau	4 %
INPUT: Personen	3 %
INPUT: Tuer2_xmin	1 %
INPUT: KAPPA	0 %
INPUT: TAU_ROT	0 %

Das **Bestimmtheitsmaß (CoD)** der **Evakuierungsgeschwindigkeit** gibt an, wieviel Prozent der Variation dieser über die Korrelationen zu **allen** Eingangsgrößen erklärt werden kann.

Dr. Gerald Grewolls, Prof. Dr. Kathrin Grewolls SIMTEGO GmbH

Introduction ○○○○  
 ○○○○○○

Vorstudie: FDS/Evac ○○○○○○  
 ○○○○

Mehrraum-Testmodell ●○○○○  
 ○○

Zusammenfassung

Pathfinder-Simulation

## Stochastic Sensitivity Analysis

- ▶ Advanced Latin Hypercube Sampling, 500 samples
- ▶ Occupant properties: normal distribution
- ▶ Geometric parameters: uniform distribution
- ▶ Output parameter: Evacuation Time (max.)

### 3 Sensitivity Studies

- ▶ Study 1: Only **occupant** parameters vary
- ▶ Study 2: Only **geometric** parameters vary
- ▶ Study 3: **Both** types of parameters vary

Dr. Gerald Grewolls, Prof. Dr. Kathrin Grewolls SIMTEGO GmbH

Introduction: 0000, 0000000  
 Vorstudie: FDS/Evac: 0000000, 000  
 Mehrraum-Testmodell: 0●000, 00  
 Zusammenfassung

Pathfinder-Simulation

## Pathfinder: Input and Output Parameters

### Input Parameters for Occupant Properties

Input Parameter	Unit	min	max
accelFactor	s	0.50	1.10
radius	m	0.14	0.25
maxVel	m/s	0.36	1.58
reactTime	s	0.09	0.11
minSqueezeFactor	-	0.50	1.00
persistTime	s	0.50	1.50
collisionResponseTime	s	0.50	2.00
comfortDist	m	0.00	0.50
slowFactor	-	0.05	0.15
localQueueTimeFactor	-	0.80	1.00
localTravelTimeFactor	-	0.80	1.00
tailTimeFactor	-	0.80	1.00

### Input Parameters for Geometry

Input Parameter	Unit	min	max
exit_west	m	1.00	1.40
exit_south	m	1.00	1.40
exit_east	m	1.00	1.40
door1	m	1.00	1.80
door2	m	1.00	1.80
door3	m	1.00	1.80

Dr. Gerald Grewolls, Prof. Dr. Kathrin Grewolls SIMTEGO GmbH

Introduction: 0000, 0000000  
 Vorstudie: FDS/Evac: 0000000, 000  
 Mehrraum-Testmodell: 0●000, 00  
 Zusammenfassung

Pathfinder-Simulation

## Pathfinder: Results of 3 Studies

### CoP Results of Study 1: Sensitivity to **occupant** parameters

Coefficients of Prognosis (using MoP)  
full model: CoP = 96 %

INPUT parameter	CoP [%] of OUTPUT: maxTime
INPUT: maxVel	54 %
INPUT: radius	34 %
INPUT: accel_Factor	11 %
INPUT: comfortDist	5 %

### CoP Results of Study 2: Sensitivity to **geometric** parameters

Coefficients of Prognosis (using MoP)  
full model: CoP = 66 %

INPUT parameter	CoP [%] of OUTPUT: MaxTime
INPUT: door3	32 %
INPUT: exit_east	18 %
INPUT: exit_west	10 %
INPUT: door2	5 %

Dr. Gerald Grewolls, Prof. Dr. Kathrin Grewolls SIMTEGO GmbH



Introduction: ○○○○  
 ○○○○○○

Vorstudie: FDS/Evac: ○○○○○○  
 ○○○

Mehrraum-Testmodell: ○○○●○  
 ○○

Zusammenfassung

Pathfinder-Simulation

## Pathfinder: Results of 3 Studies

### MOP Results of Study 1: Sensitivity to **occupant** parameters

MLS approximation of maxTime  
Coefficient of Prognosis = 96 %

### MOP Results of Study 2: Sensitivity to **geometric** parameters

Polynomial regression of MaxTime  
Coefficient of Prognosis = 66 %

Dr. Gerald Grewolls, Prof. Dr. Kathrin Grewolls

SIMTEGO GmbH

Introduction: ○○○○  
 ○○○○○○

Vorstudie: FDS/Evac: ○○○○○○  
 ○○○

Mehrraum-Testmodell: ○○○●○  
 ○○

Zusammenfassung

Pathfinder-Simulation

## Pathfinder: Results of 3 Studies

### CoP Results of Study 3: Sensitivity to both **occupant** and **geometric** parameters

Coefficients of Prognosis (using MoP)  
full model: CoP = 91 %

INPUT parameter	CoP [%]
1: INPUT: maxVel	53 %
2: INPUT: radius	36 %
3: INPUT: accelFactor	13 %

### Conclusion

- ▶ Sensitivity of max. evacuation time to occupant properties is much higher than to geometric door and exit dimensions

Dr. Gerald Grewolls, Prof. Dr. Kathrin Grewolls

SIMTEGO GmbH

Introduction: ○○○○  
 ○○○○○○

Vorstudie: FDS/Evac: ○○○○○○  
 ○○○

Mehrraum-Testmodell: ○○○○  
 ○●

Zusammenfassung

FDS/Evac-Simulation

## FDS/Evac sensitivity analysis

### Input Parameters

- ▶ Sensitivity study for occupant parameters only
- ▶ Constant geometric dimensions
- ▶ Options for specific agent behaviour: follow others, „herding“
- ▶ 500 samples in < 1 hour on 8 CPU cores

Dr. Gerald Grewolls, Prof. Dr. Kathrin Grewolls

SIMTEGO GmbH

Introduction: ○○○○  
 ○○○○○○

Vorstudie: FDS/Evac: ○○○○○○  
 ○○○

Mehrraum-Testmodell: ○○○○  
 ○●

Zusammenfassung

FDS/Evac-Simulation

## FDS/Evac sensitivity analysis

### CoP Results of FDS/Evac: Sensitivity to **occupant** parameters

Coefficients of Prognosis (using MoP)  
 full model: CoP = 96 %

INPUT parameter	CoP [%]
INPUT: Velocity	76 %
INPUT: AGENT_TYPE	21 %
INPUT: Diameter_2Rd	4 %
INPUT: FCONST_B	2 %

CoP [%] of OUTPUT: MaxTime

### MOP, 3D-Response Surface for FDS/Evac: Sensitivity to **occupant** parameters

Quadratic no mixed regression of MaxTime  
 Coefficient of Prognosis = 96 %

MaxTime [s]

AGENT\_TYPE

Velocity [m/s]

190  
180  
170  
160  
150  
140  
130  
120  
110  
100  
90  
80  
70  
60  
50  
40  
31

Dr. Gerald Grewolls, Prof. Dr. Kathrin Grewolls

SIMTEGO GmbH

Introduction

○○○○

○○○○○○○

Vorstudie: FDS/Evac

○○○○○○○

○○○

Mehrraum-Testmodell

○○○○○

○○

Zusammenfassung

## Conclusions

- ▶ **Occupant parameters** are more important than geometric dimensions in usual ranges
- ▶ **Most important** occupant parameters: walking speed, body dimensions and acceleration time
- ▶ **Modelling** of psychologic phenomena like herding is very important
- ▶ Correct data for the expected parameter ranges will increase reliability of simulations
- ▶ Evacuation simulation is an ideal field of application for stochastic analyses due to the short simulation times

**Prof. Dr. Kathrin Grewolls**

**Parameterstudie zur Berücksichtigung von Menschen mit Behinderungen in Evakuierungssimulationen**

The image shows a presentation slide with a blue header bar containing three navigation tabs: 'Einleitung', 'Altersbedingte Einschränkungen', and 'Parameterbestimmung'. The main content area is white and contains the following text:

Parameterstudie zur Berücksichtigung von  
Menschen mit Behinderungen in  
Evakuierungssimulationen

Prof. Dr. Kathrin Grewolls

Hochschule Furtwangen

07.11.2014, FDS usergroup Berlin

At the bottom right of the slide, there is a set of small navigation icons. The footer of the slide, which is also blue, contains the text 'Prof. Dr. Kathrin Grewolls' on the left and 'Hochschule Furtwangen' on the right.

Einleitung      Altersbedingte Einschränkungen      Parameterbestimmung

# Inhalt

Einleitung

Altersbedingte Einschränkungen

Parameterbestimmung

◀ ▶ ⏪ ⏩ ⏴ ⏵ ⏶ ⏷ ⏸ ⏹ ⏺ ⏻ ⏼ ⏽ ⏾ ⏿ 🔍 ↺

Prof. Dr. Kathrin Grewolls      Hochschule Furtwangen

Einleitung      Altersbedingte Einschränkungen      Parameterbestimmung

# Motivation

- ▶ **Nachweise:** Evakuierungssimulation als Bestandteil der Baugenehmigung
- ▶ **Parameter:** junge, gesunde Personen
- ▶ **Altersverteilung** oft unbekannt

Überlebensrate [in %]

Lebensalter [in Jahren]

Altersgruppen in absoluten Zahlen, Anteile der Geschlechter in Prozent, 31.12.2010

Alter	Männer (in Tsd.)	Frauen (in Tsd.)	Anteil Männer (%)	Anteil Frauen (%)
<10	6.977	48,7%	51,3%	48,7%
10-19	8.104	51,3%	50,9%	49,1%
20-29	9.947	50,6%	49,4%	50,6%
30-39	9.809	51,0%	49,0%	51,0%
40-49	13.725	50,0%	48,6%	51,4%
50-59	11.695	45,1%	37,7%	62,3%
60-69	9.031	27,2%	2,355	72,8%
70-79	8.156	27,2%	1,952	72,8%
80-84	2.355	27,2%	1,952	72,8%
≥85	1.952	27,2%	1,952	72,8%

Bild: statistisches Bundesamt

◀ ▶ ⏪ ⏩ ⏴ ⏵ ⏶ ⏷ ⏸ ⏹ ⏺ ⏻ ⏼ ⏽ ⏾ ⏿ 🔍 ↺

Prof. Dr. Kathrin Grewolls      Hochschule Furtwangen

Einleitung      Altersbedingte Einschränkungen      Parameterbestimmung

## Altersbedingte Einschränkungen

- ▶ **Sinne:** sehen, hören, fühlen, riechen
- ▶ **Körper:** Beweglichkeit, Kraft, Fingerfertigkeit
- ▶ **Geist:** Informationsverarbeitung, Gedächtnis, Reaktion, Koordination

◀ ◻ ▶ ◀ ◻ ▶ ◀ ◻ ▶ ◀ ◻ ▶ ◀ ◻ ▶ ◀ ◻ ▶ ◀ ◻ ▶ ◀ ◻ ▶ ◀ ◻ ▶ ◀ ◻ ▶

Prof. Dr. Kathrin Grewolls      Hochschule Furtwangen

Einleitung      Altersbedingte Einschränkungen      Parameterbestimmung

Lebensalter	20	30	40	50	60	70	80
<b>Sehen</b>							
vermehrter Lichtbedarf			35				
nachlassende Akkomodationsbreite			40				
höhere Blendempfindlichkeit			40				
schlechtere Anpassung an grelles Licht			40				
verminderte Tiefenwahrnehmung			40				
Verminderung der Sehschärfe				50			
verzögerte Dunkelanpassung					55		
Einengung des Gesichtsfeldes					55		
längere Dauer für scharfe Wahrnehmung eines Objekts					55		
schlechtere Farbwahrnehmung						70	
<b>Hören</b>							
verminderte Hörfähigkeit bei Männern			32				
verminderte Hörfähigkeit bei Frauen			37				
Störanfälligkeit für Hintergrundgeräusche				45			
seitendifferenzierter Ausfall bei dichotischer Diskrimination						70	
deutliche Presbyakusis						70	
gravierende Störung des Sprachverstehens							90
<b>Tasten</b>							
Verminderung der Tastkörperchen		20					
graduelle Abnahme der Hautsensibilität			30				

◀ ◻ ▶ ◀ ◻ ▶ ◀ ◻ ▶ ◀ ◻ ▶ ◀ ◻ ▶ ◀ ◻ ▶ ◀ ◻ ▶ ◀ ◻ ▶ ◀ ◻ ▶ ◀ ◻ ▶

Prof. Dr. Kathrin Grewolls      Hochschule Furtwangen

## Sehen im Alter - Erkennen

- ▶ verminderte Sehschärfe, vermehrter Lichtbedarf (35/40 J.)
- ▶ schlechtere Farb- und Tiefenwahrnehmung (50 J.)
- ▶ verzögerte Dunkeladaptation, Einengung des Gesichtsfeldes (50/55 J.)



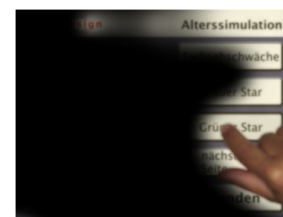
Simulationsbeginn - Alter: 30 Jahre



Alter: 62 Jahre, Weitsichtigkeit: 100%



Alter: 70 Jahre, Weitsichtigkeit: 80%, Grauer Star



Alter: 65 Jahre, Weitsichtigkeit: 70%, Grüner Star

Bild: statistisches Bundesamt



## Welche Simulationsparameter ändern sich im Alter?


- ▶ Fläche
- ▶ Bewegungsgeschwindigkeit
- ▶ Reaktion

Wie können diese bestimmt werden?



Einleitung      Altersbedingte Einschränkungen      Parameterbestimmung

## DIN 33402 - genormte Parameter



1.10	Schulterbreite (bideltoid)					
	Männer			Frauen		
	Perzentil					
	5	50	95	5	50	95
Altersgruppen	Angaben in mm					
18 - 65	440	480	525	395	435	485
18 - 25	425	470	515	385	420	455
26 - 40	440	480	525	395	435	490
41 - 60	445	480	525	400	445	495
61 - 65	435	475	520	395	440	480

Prof. Dr. Kathrin Grewolls      Hochschule Furtwangen

Einleitung      Altersbedingte Einschränkungen      Parameterbestimmung

## Versuchsdurchläufe

- ▶ Person im Rollstuhl mit/ohne Alterungsanzug
- ▶ Person schiebt Rollstuhl mit/ohne Alterungsanzug
- ▶ Person mit Rollator mit Alterungsanzug
- ▶ Person mit Krücke mit/ohne Alterungsanzug






Abbildung 10: Altersanzug (Dobermecker, 2014)

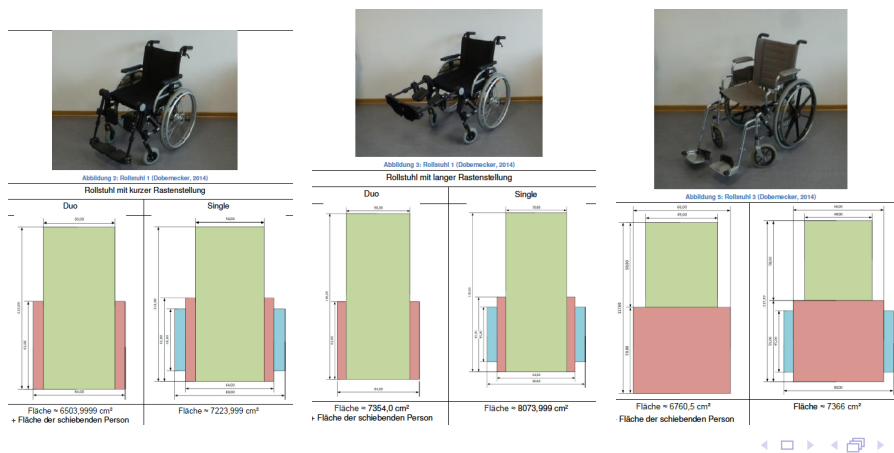
Abbildung 11: Altersanzug & Rollator (Dobermecker, 2014)

Prof. Dr. Kathrin Grewolls      Hochschule Furtwangen



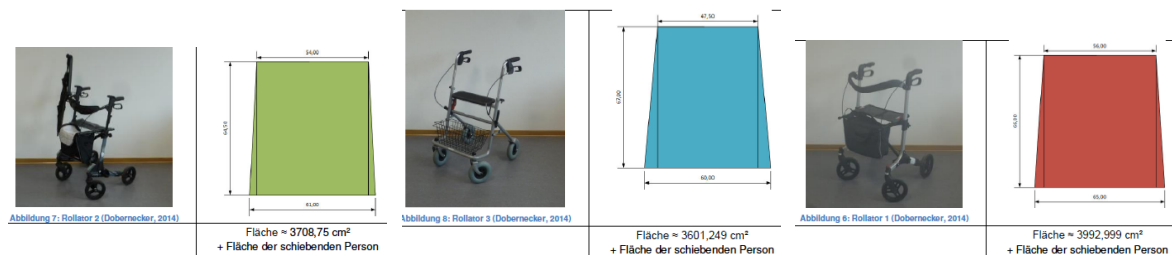
## Rollstühle

- ▶ Flächenbedarf: 0,6 - 0,8 m<sup>2</sup> zzgl. eine Person
- ▶ normale Gangart: 0,5 - 1,2 m/s (Single); 1,2 - 1,3 m/s (Duo)
- ▶ schnelle Gangart: 1,2 - 1,3 m/s (Single); 1,7 - 1,9 m/s (Duo)



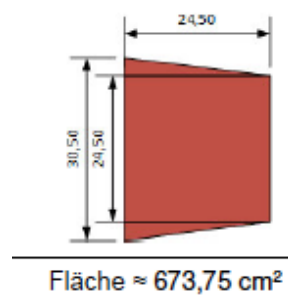
## Rollatoren

- ▶ Platzbedarf: 0,4 m<sup>2</sup> zzgl. eine Person
- ▶ normale Gangart: 0,7 - 0,9 m/s
- ▶ schnelle Gangart: 1,1 - 1,2 m/s



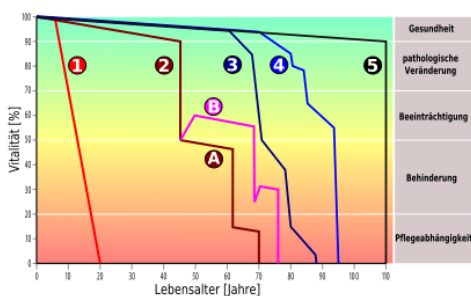
## Krücken

- ▶ Platzbedarf: 0,7 m<sup>2</sup> zzgl. eine Person
- ▶ normale Gangart: 0,8 - 0,9 m/s
- ▶ schnelle Gangart: 1,5 - 1,7 m/s



## Fazit


- ▶ weitere Versuchsdurchläufe notwendig
- ▶ Bewegungsmuster einer Gruppe mit einzelnen Rollstuhlfahrern unbekannt
- ▶ Veröffentlichung folgt



Einleitung      Altersbedingte Einschränkungen      Parameterbestimmung

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit.

Prof. Dr. Kathrin Grewolls      Hochschule Furtwangen

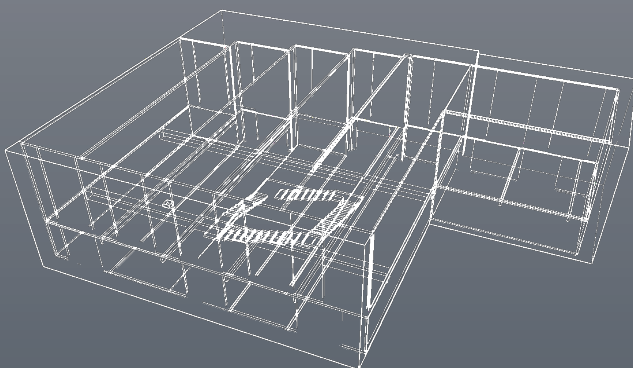
A set of small navigation icons typically found in Beamer presentations, including symbols for back, forward, search, and refresh.

„Ganz offensichtlich nähert sich die deutsche FDS-Community mit sehr viel Sachverstand und Eigenkreativität dem Thema FDS an. Auf dem zweiten Treffen wurde eine Vielzahl an eindrucksvollen, vielversprechenden Konzepten präsentiert, die zu einer deutlichen Qualitätssteigerung von FDS beitragen könnten. In diesem Zusammenhang halte ich es für außerordentlich wichtig, dass die deutschen Interessen und Konzepte in gebündelter Weise an die Hauptentwickler beim NIST herangetragen werden, um ihnen auf diese Weise mehr Nachdruck zu verleihen. Diese Vermittlerfunktion betrachte ich - neben der Qualitätssicherung durch gemeinsam zu erarbeitende Anwendungsrichtlinien - als eines der wichtigsten Ziele der FDS Usergroup.

Aus meiner Sicht wird FDS mittelfristig nur durch den Übergang auf moderne Parallelrechner-Architekturen mit den ständig wachsenden Anforderungen an Rechengenauigkeit und -Geschwindigkeit Schritt halten können. Aufgrund der vorliegenden Konvergenzprobleme für Multi-Mesh-Rechnungen besteht daher insbesondere die Notwendigkeit, den in FDS benutzten FFT-Drucklöser durch einen stabileren, besser parallelisierbaren Löser zu ersetzen. Im Zusammenhang mit dem von mir entwickelten, iterativen Defekt-Korrekturansatzes tausche ich mich seit langem intensiv mit den Hauptentwicklern vom NIST aus, die mir großes Interesse signalisiert haben.

Es bleibt zu hoffen, dass es uns gemeinsam gelingen wird, die vorgestellten Konzepte ins Bewusstsein und - wenn möglich - auch auf die To-Do-Liste der Hauptentwickler zu rücken!“

Dr. Susanne Kilian  
Initiatorin der FDS Usergroup



hhpberlin 

hhpberlin  
Ingenieure für  
Brandschutz GmbH  
Rotherstraße 19  
10245 Berlin  
email@hhpberlin.de

ISSN 2191-463X  
8. Tagungsband  
FDS Usergroup  
Jahrgang 2014