

**70. Jahresfachtagung  
der Vereinigung zur Förderung des  
Deutschen Brandschutzes e. V.  
2024 in Magdeburg**



Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Vervielfältigung und der Speicherung, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland in der jeweils gültigen Fassung zulässig.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Buch berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutzgesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

## **Impressum**

Herausgeber:

Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes e. V.

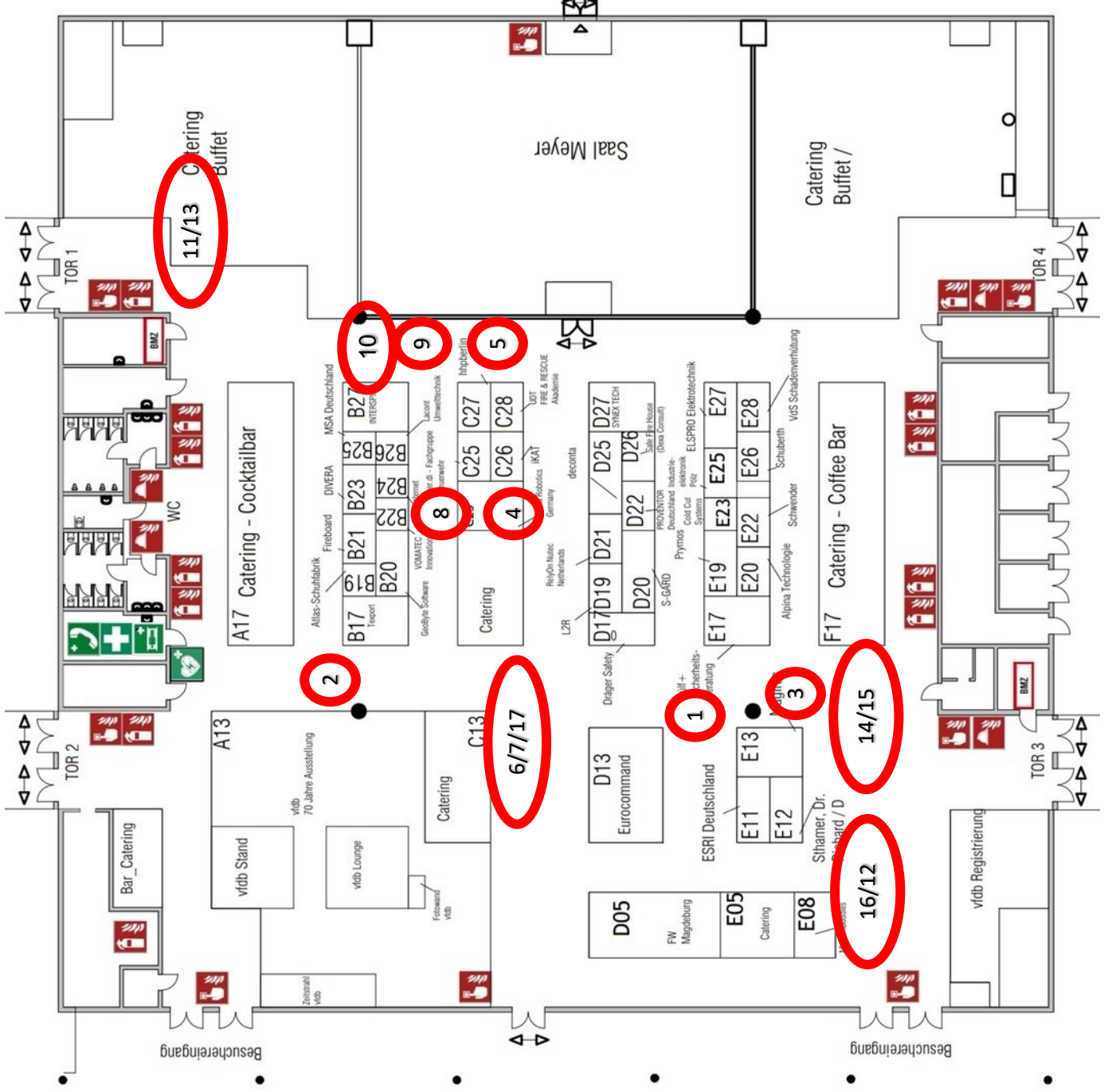
Redaktion:

Jens Krause, Ansgar Stening

Gestaltung und Layout:

Jens Krause, Ansgar Stening

1. Pottebaum
2. Hormuth
3. Watermann
4. Lütke
5. Schultz
6. Bogdahn
7. Bickert
8. Kulms
9. Mann
10. Maier
11. Westphal
12. Kümmerlen
13. Müller
14. Schliebe
15. Schmitz
16. Sudhof
17. Scheller



# Multi-Skalen-Untersuchungen der Polymerpyrolyse für valide Brandprognoserechnungen

Felix Bickert, M. Sc.

Technische Universität Braunschweig | Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz (iBMB)

f.bickert@ibmb.tu-braunschweig.de | Telefon +49 (0) 531 391-8360

## Problemstellung

- Zunehmende Bedeutung CFD-basierter Brandprognosemodelle
- Komplexe Interaktion verschiedener Submodelle notwendig, um Brandphänomene valide abzubilden (Abb. 1)
- Vorhersage der Entzündung und der Brandausbreitung Stand heute nicht ohne Weiteres möglich (Brandfolgenberechnung ≠ Prognoserechnung)
- Problemstellungen
  1. Kein Standard für Festlegung von Eingangsparametern
  2. Häufig unzureichende Unsicherheitsquantifizierung
  3. Multi-Skalen-Problem: Übertragung von Ergebnissen und Berechnungen kleinskaliger Versuche auf Realskala nicht möglich

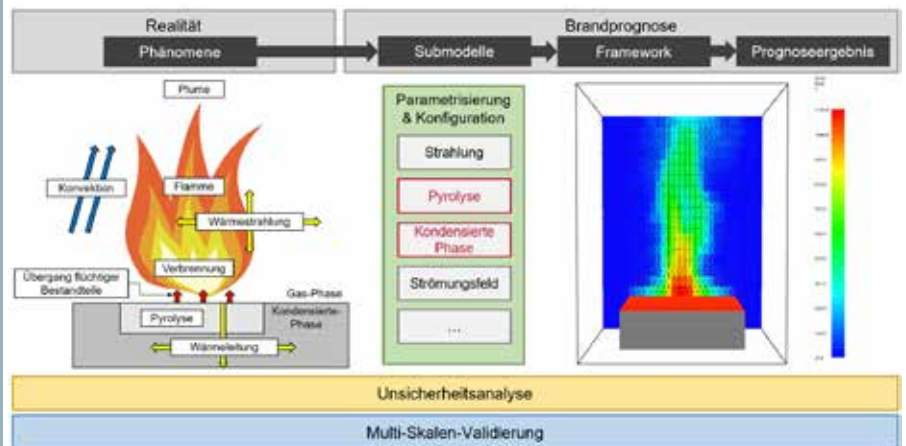


Abbildung 1: Zusammenhang von Brandphänomenen und Brandprognose

## Pyrolysemodellierung

- Pyrolysemodell wesentlich, wenn es um Fragestellungen der Brandentstehung und -ausbreitung geht, da Zersetzung von kondensiertem Material die in der Gasphase stattfindenden Verbrennungsreaktionen bestimmt
- Für Pyrolysemodellierung erforderlichen zersetzungskinetischen, thermodynamischen und Transport-Eigenschaften können (teilweise) direkt aus Messungen, analytischen Ansätzen oder inverser Modellierung ermittelt werden
- Experimente bilden die Basis für alle Parametrisierungs-Ansätze
- Offen ist, welche Verfahren für Parametrisierung der Modelle bevorzugt werden sollten (unklare Leistungsfähigkeit in Real-Skala)
- Eingangsparameter weisen divergierende Sensitivitäten auf. Notwendigkeit die Sensitivitäten Skalen-übergreifend zu untersuchen
- Notwendigkeit der Entwicklung einer validen Parametrisierungsstrategien (inkl. umfassender Betrachtung von Unsicherheiten)

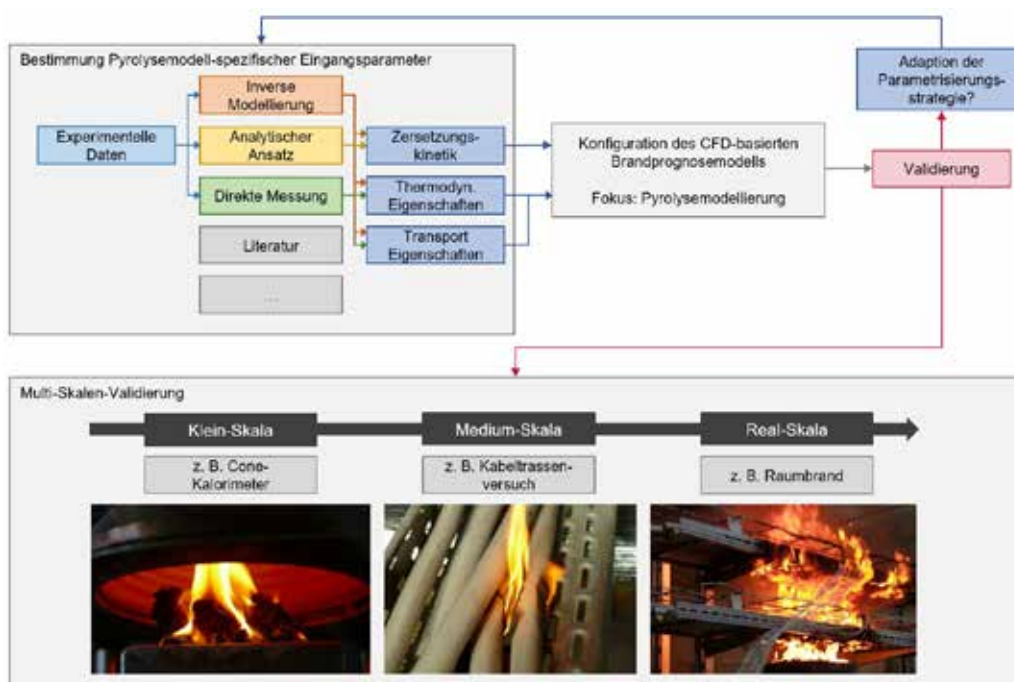


Abbildung 2: Parametrisierungsstrategien für Pyrolysemodelle und deren Validierung

## Forschungsziele

Nachhaltige Verbesserung der Leistungsfähigkeit von Brandprognoseberechnungen

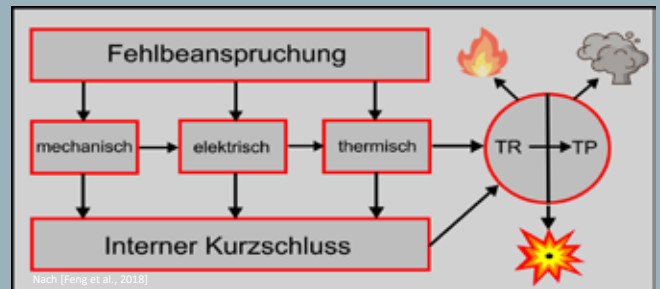
1. Entwicklung valider und reliabler Parametrisierungs-Ansätze
2. Entwicklung von Methoden zur einheitlichen Modellkonfiguration (v. a. bei komplexen Objekten)
3. Umfassende Multi-Skalen-Modellvalidierung
  - a. Identifizierung von Submodell-Schwachstellen
  - b. Verbesserung der Submodell-Interaktion
  - c. Schaffung einer konsistenten Datenbasis für offene und blinde Validierungsrechnungen
4. Implementierung von Strategien zur Unsicherheitsquantifizierung

# Modellierung der Wärme- und Stofffreisetzung einer LIB-Zelle als Quellterme für die CFD-Brandsimulation

Prof. Dr.-Ing. Jochen Zehfuß | Dr.-Ing. Olaf Riese | Martin Bogdahn M.Sc.  
Technische Universität Braunschweig | Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz (iBMB)  
Braunschweig | Deutschland  
E-Mail: m.bogdahn@ibmb.tu-braunschweig.de | Telefon: +49 531 391 8364

## Problemstellung

- LIB (Lithium-Ionen-Batterien) dominieren den Markt im Bereich der Batteriespeichersysteme und der Transaktionsbatterien von Elektrofahrzeugen.
- Durch Fehlbeanspruchung kann ein sich beschleunigender Selbsterwärmungsprozess in der Zelle ausgelöst werden (Thermal Runaway bzw. Thermisches Durchgehen, TR).
- Infolge des TR einer Zelle können auch benachbarte Zellen bis hin zum gesamten Modul/Pack involviert werden (Thermal Propagation, TP).
- Dabei werden Wärme, toxische sowie brennbare Gasen und Rauch freigesetzt.
- Das kann einen Batteriebrand und auch Explosionen zur Folge haben.



## Modellierung

- Wärmefreisetzung durch exotherme Zerfallsreaktionen  $\dot{Q}_{Reac}$ , Joulesche Wärme  $\dot{Q}_{Joul}$  infolge eines internen Kurzschlusses im Zellinnern und Verbrennung der Batteriegase außerhalb des Moduls/Batteriepacks  $\dot{Q}_{Comb}$  [Diaz, 2020]
- Modellierung der elektro-chemischen Vorgänge in der Zelle: komplex/rechenaufwendig, nicht geeignet für Simulation der Brandausbreitung außerhalb großer Module oder Batteriepacks [Hoelle]
- Bestimmung der Anteile von  $\dot{Q}_{Reac}$ ,  $\dot{Q}_{Joul}$  und  $\dot{Q}_{Comb}$  als Quellterme für die Simulation der Branddynamik mithilfe eines Extended Volume Accelerating Rate Calorimeter (EV ARC)
- EV ARC ohne Kanister /Druckbehälter): schrittweise adiabate Erhöhung der Temperatur des Kalorimeters  $T_K$  bis zum Thermal Runaway zur Bestimmung von  $\dot{Q}_{Reac} + \dot{Q}_{Joul}$
- EV ARC mit Kanister: Messung des Drucks während der adiabaten Erwärmung der Zelle und des Thermischen Durchgehens, Quantifizierung des freigesetzten Volumens von Batteriegasen nach Venting
- Simulation der Branddynamik außerhalb der Zelle mittels CFD-Brandsimulation mit dem Fire Dynamics Simulator (FDS) mit Quelltermen für Wärme- und Stofffreisetzung einer Zelle

## EV ARC

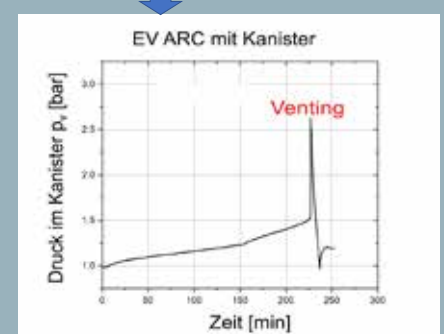
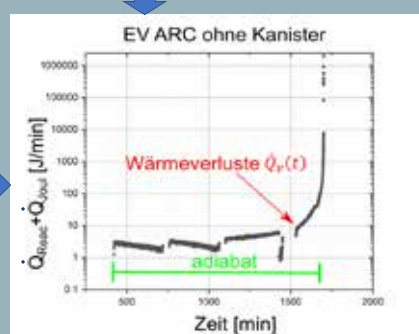
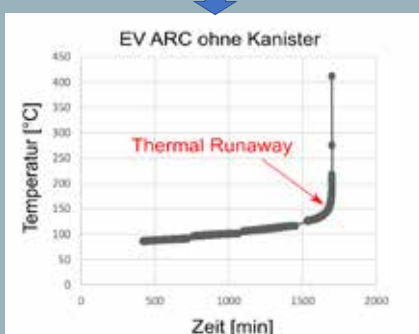


## Wärmefreisetzung einer Zelle (ARC ohne Kanister)

- Wärmefreisetzung:  $\dot{Q} = \dot{Q}_{Reac} + \dot{Q}_{Joul} + \dot{Q}_{Comb}$
- $\dot{Q}_{Reac} + \dot{Q}_{Joul} = \frac{dT_c}{dt} \cdot m_c \cdot c_{p,c} + \dot{Q}_v(t)$  (1)
- Wärmeverluste  $\dot{Q}_v(t)$  ergeben sich beim TR durch schlagartige Temperaturerhöhung der Zelle  $T_c$ , sodass die Temperatur des Kalorimeters  $T_K \neq T_c$
- ToDo: Quantifizierung von  $\dot{Q}_v(t)$

## Stofffreisetzung einer Zelle (ARC mit Kanister)

- Quantifizierung und Qualifizierung der beim Venting ausströmenden Batteriegase, welche außerhalb der Zelle verbrennen können ( $\dot{Q}_{Comb}$ )
- $n_v = \frac{p_v V_v}{RT_v} - \frac{p_0 V_0}{RT_0}$  [Zhao, 2020] mit  $n_v$ ... Stoffmenge der Venting-Gase, Index 0 ... Anfangsbedingungen im Kanister des EV ARC, Index v... Venting
- Qualifizierung der Batteriegase mittels FTIR des EV ARC und GC-MS, typischer Weise CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>, Ethylen-, Diethylcarbonat



[Diaz, 2020] Diaz, L.B., 2020: Review – Meta Review of fire safety of Lithium-Ion-Batteries: Industry Challenges and Research Contributions; Journal of the Electrochemical Society, 167 (2020)  
[Feng et al., 2018] Feng, Y., Ouyang, M., Liu, X., Lu, L., Xia, Y., He, X., 2018: Thermal runaway mechanism of lithium ion battery for electric vehicles: A review, Energy Storage Materials, 10 (2018)  
[Zhao et al., 2020] Zhao, C., Sun, J., Wang, Q.: Thermal runaway hazards investigation on 18650 lithium-ion battery using extended volume accelerating rate calorimetry, Journal of Energy Storage, 28 (2020)

# Entwicklung und Validierung eines Augmented Reality-gestützten Rettungsdatenblatts

Jonas Hormuth, Florian Hafner

## Einleitung

- Rettungsdatenblätter (RDB) in 2D haben sich bereits zum Standard in der Feuerwehr etabliert.
- Die Darstellung mehrerer sicherheitsrelevanter Daten wird komplexer und unübersichtlicher (speziell bei alternativen Antrieben).
- ➔ Verwendung von **Augmented Reality (AR)** als Möglichkeit zur besseren Darstellung sicherheitsrelevanter Fahrzeugteile.



## Grundlagen

- 2D-RDB werden in der Darstellung immer unübersichtlicher, da mehr Fahrzeugkomponenten sicherheitsrelevant sind - beispielsweise Hochvoltbatterien oder Elektromotoren.
- Augmented Reality erlaubt es, dass reale Umgebung und digitale 3D-Objekte gleichzeitig gesehen werden können.
- Das AR-basierte Rettungsdatenblatt konnte anhand vorhandener Daten mit „Frontline Spatial“ gestaltet werden.
- Motivation: Gefährdungen durch sicherheitsrelevante Fahrzeugteile besser identifizieren und lokalisieren können.

## Ergebnisse

- Führungskräfte gaben an, dass sie...
  - ... das Szenario bei der Wiederholung der Durchführung mit dem AR-RDB **schneller** bearbeiten könnten, wenn sie das System besser kennen würden.
  - ... mit dem AR-RDB wesentlich schneller alle **Gefährdungen** erkannt haben und ihre Mannschaft besser darauf hinweisen konnten.
  - ... mit dem AR-RDB an die Gefährdungen durch Blicke auf das „Unfallfahrzeug“ **stärker erinnert** wurden.
  - ... **wenig Ablenkung** durch die Verwendung des AR-RDB empfunden haben (Freie Hände bei der Bedienung des RDB).
  - ... das AR-RDB (wenn es kommerziell verfügbar wäre) für das **beste Verfahren** zur Abarbeitung bei Verkehrsunfällen halten.
  - ... sich eine weitere **Entwicklung** zum Thema AR in der Feuerwehr wünschen würden.
- Die Zeitanalyse ergab, dass Führungskräfte mit dem AR-RDB das Szenario A (Fahrzeug gegen Baum, Rettungsdienst bereits vor Ort) im Schnitt 2:39 min schneller ( $\sigma$  32 sec.) abarbeiten konnten, als die Vergleichsgruppe mit dem 2D-RDB
- Die Beobachtungen ergaben, dass Führungskräfte bei Verwendung des AR-RDB ihre Einsatzkräfte häufiger auf vorhandene Gefährdungen hingewiesen haben.

## Diskussion & Fazit

- Die Angaben der Führungskräfte stellen das AR-RDB als positive Entwicklung zur Bearbeitung von Verkehrsunfällen dar.
- Wesentliche Vorteile: **Schnellere** Identifikation eines erweiterten Spektrums potenzieller **Gefährdungen** und **weniger Ablenkung** durch RDB.
- Darstellungen im 3D-Format überlappen sich kaum, die Lokalisation kann deutlich vereinfacht und präzisiert werden.

## Ausblick

- Optimierung der (farblichen) Darstellung in AR möglich.
- Verwendung von Mixed-Reality (einstellbar zwischen Realität und Virtualität) als weitere Stufe denkbar.
- Eruierung der Praxistauglichkeit im Feuerwehreinsatz, z.B. durch Integration in den Helm.
- Untersuchung weiterer Anwendungsmöglichkeiten von AR im Feuerwehreinsatz.

## Darstellung & Evaluierung

- Daten zur Erstellung des AR-RDB wurden aus vorhandenen 2D-RDB und Experteninterviews gewonnen.
- Sicherheitsrelevante Fahrzeugteile wurden durch Quader und Zylinder in 3D visualisiert.
- Führungskräfte konnten durch „Blicke“ auf 3D-Objekte weitere Informationen einsehen.
- Ebenso Unterstützung in Vorgehensweise möglich (Rettungsgrundsatz etc.).
- Evaluierung zweier Szenarien mit unterschiedlichen RDBs als Hilfsmittel (2D und AR im Vergleich).
- Anschließende Beantwortung eines Fragebogens zur Evaluation der gesammelten Erfahrungen.

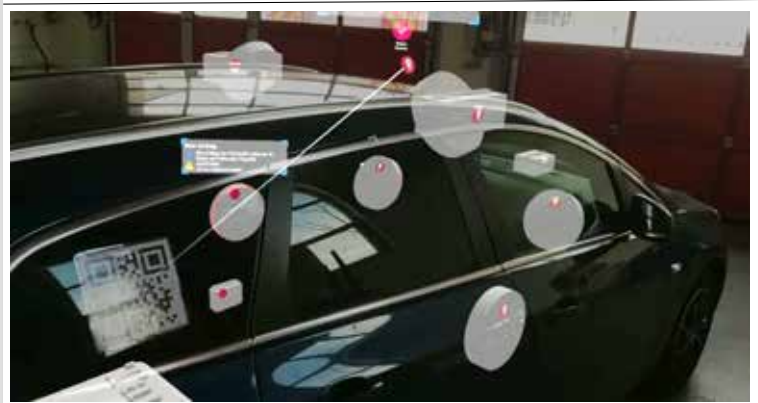
## 2D-Rettungsdatenblatt (IONIQ 5)

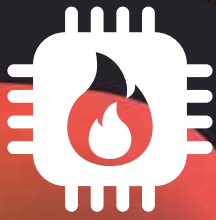


Hyundai (2021): Hyundai IONIQ 5 SUV. © Tuer, Ab März 2021, Rettungsdatenblatt, 03.2021.

## Ergebnispräsentation

FRAGE 3.1: SIND SIE DURCH IHR ANGEWANDTES RETTUNGSDATENBLATT-SYSTEM AUF ALLE GEFÄHRDUNGEN AUFMERKSAM GEMACHT WORDEN, DENEN SIE/IHRE MANNSCHAFT BEGEGNEN KONNTEN?





# Projekt 5G DOS Fire

## 5G Digital Operating System der Feuerwehren Dortmund und Schwerte

Das Projekt **5G DOS Fire** hat zum Ziel, die Gefährdung der Einsatzkräfte zu reduzieren und die Möglichkeiten der Informationsgewinnung zu erhöhen. Dazu wurde ein Einsatzcockpit in einen ELW (neu GW-DuK) eingebaut. Der GW-DuK dient zukünftig zur Darstellung aller Lageinformationen sowie Video- und Bildmaterialien vom Boden und aus der Luft über ein 5G-Campusnetz. Darüber hinaus soll aus dem Einsatzcockpit eine teilautomatisierte Steuerung der Drohne (UAV) und des Bodenroboters (UGV) möglich sein.

### UGV

Das Unmanned Ground Vehicle (UGV) ist ein robuster und geländegängiger Bodenroboter, der für Aufklärungsaufgaben sowie für die Abwehr von CBRN-Gefahren eingesetzt wird. Kopf, Greifer und Turm können umfassend gedreht bzw. geneigt werden. Das angeschaffte UGV ist kompakt und wiegt etwa 20-30 kg, abhängig von der Ausstattung. Es kann je nach Einsatzgebiet mit verschiedenen Sensoren und Werkzeugen ausgestattet werden. Die erfassten Daten werden durch das 5G-Campusnetz an das Einsatzcockpit übermittelt.



### GW-DuK mit 5G-Campusnetz

Das 5G-Campusnetz besteht aus nur drei Modulen (Basisstation, omnidirektionale Antenne und Steuerungsserver) und soll eine ortsunabhängige 5G-Verbindung ermöglichen. Damit diese an der Einsatzstelle schnell betriebsbereit sein kann, wurde die 5G-Antenne mit einer elektrischen Hubvorrichtung am Fahrzeug montiert.



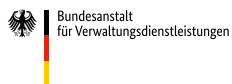
### UAV

Kernaufgabe des Unmanned Aerial Vehicle (UAV) ist die schnelle und präzise Lageerkundung aus der Luft. Damit ist es möglich, detaillierte Bilder und Videos aus verschiedenen Perspektiven eines Einsatzortes in das Einsatzcockpit zu übertragen. Die teilautomatisierte Steuerung der UAV, durch vorprogrammierte Kommandos aus dem Einsatzcockpit, soll insbesondere für die Personensuche und Dokumentation bei Gebäudebränden genutzt werden. Dadurch soll der UAV-Pilot entlastet werden und könnte zusammen mit dem Luft-raumbeobachter als Rückfallebene agieren, was die Sicherheit erhöhen würde.



### Einsatzcockpit

Im Einsatzcockpit wird der aktuelle Standort der robotischen Einsatzmittel übertragen und zusammen mit dem Videosignal, übersichtlich auf den Monitoren des GW-DuK dargestellt. Hierfür wurde eine Steuerungs- und Monitoring-Software entwickelt, die neben den Sensordaten unter anderem auch Gebäudeinformationen und Hydranten-Verzeichnisse anzeigen kann. Dies dient zur Unterstützung der Einsatzleitung während des Einsatzes und zur Dokumentation für die Einsatznachbereitung.



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

## Partner



Stadt Schwerte  
jennifer.mehi-hengsbach  
@stadt-schwerte.de

Feuerwehr Dortmund  
fkulms@stadtdo.de

flyXdrive GmbH  
holsten@flyXdrive.de

ELP GmbH  
c.weiss@elp-gmbh.de

TEMA Technologie Marketing AG  
symanczik@tema.de

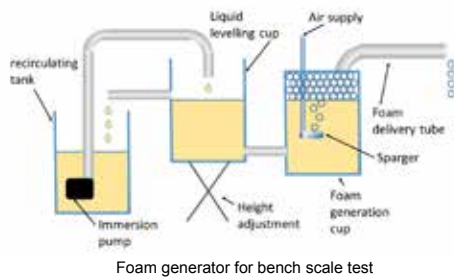
becon GmbH  
daniel.lange@becon.de

Fraunhofer IIS  
martin.spittel@iis.fraunhofer.de

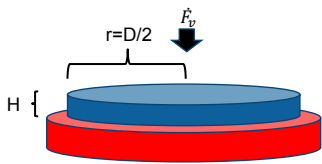


## Bench scale fire extinguishing test

Foams are a very effective and widely used method to extinguishing fires. They are especially useful to extinguish large pool fires of liquid fuels. To test the capabilities of newly developed foams and foam components, a bench scale fire extinguishing test has been developed at NRL. The sophisticated design of the foam generator guarantees highly similar foam properties at different foam flow rates [3]. Extinguishing time data of > 200 extinguishing tests with > 80 different foam solutions at many different foam flow rates has been generated at NRL with the bench scale test. The goal is to find a simple mathematical model which correlates material data of the foam solution to experimental results to further cut back the number of fire tests necessary for the development of a new foam.



## Mathematical model for the bench scale fire extinguishing test



$$\rho \pi H_f D \frac{dD}{dt} = \rho F_v - \rho \frac{\pi}{4} D^2 R_{dfu} - \rho \pi H_f D R_{dfi}$$

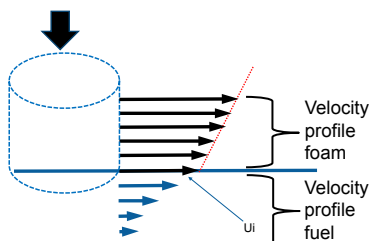
### Model assumptions

- Constant height  $H_f$  of cylindrical foam layer with variable diameter  $D$
- Uniform density of foam
- No drainage
- Constant mass loss  $R_{dfu}$  due to fuel/foam interaction proportional to area covered by foam
- Mass loss due to fire/foam interaction at constant rate  $R_{dfi}$  proportional to circumference of foam layer
- Foam is applied in the center of the circular pan with constant rate  $F_v$
- Fire is extinguished when diameter of foam is equal or larger that diameter of the cylindrical pool

## Couette Flow Assumption

One additional assumption is that the velocity of the foam at the fuel/foam interface  $U_i$  is a constant at a given radius  $R_t$  around the foam input location. It changes with height at a constant rate. By integrating over the velocity profile and solving for  $H_f$  if the height of the foam on top of the pool can be determined:

$$F_v = \int_0^{H_f} 2\pi r u(r) dr \Rightarrow H_f = -\frac{\mu U_i}{\tau} + \sqrt{\frac{\mu^2 U_i^2}{\tau^2} + \frac{\mu F_v}{2\pi R_t \tau}}$$

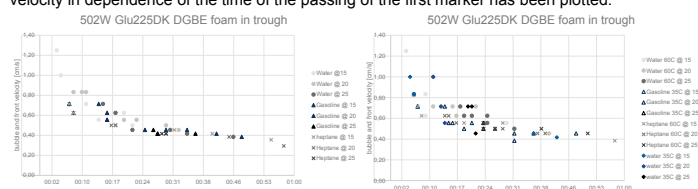


## Validation in 1D Trough

In a one dimensional trough, if the top layer is the fastest layer, the tip of the foam should have the same velocity as all other points at the top of the foam. In the other case, the tip of the foam should move faster than other points on the top of the foam, with the difference increasing with the distance from the tip of the foam. The same holds for the time domain.



To measure the speed of different points at the top layer of the foam, the movement of bubbles at the top of the foam has been observed. The times when the bubbles passed the 10 cm mark, 15 cm mark etc up to the 35 cm mark have been recorded, when applicable. To compute the velocity of the foam bubbles, the travel time between two marks has been divided by the distance (5 cm). The resulting velocity in dependence of the time of the passing of the first marker has been plotted.



## Fitting model to experimental data

Model predicts extinguishing times  $t_{ex}$  at given foam flow rates  $F_v$  using a set of parameters ( $R_{dfi}$ ,  $R_{dfu}$  etc) named P:

$$t_{model ij} = Model(F_{v ij}, P_{k j})$$

For the foam solution  $j$ , different foam flow rates  $i$  and the set of parameters P

To fit the model to the experimental data, the sum of squares has to be minimized. This is done by adjusting the parameters P:

$$\sum_i (t_{ex ij} - t_{model ij})^2$$

$$\sum_i (t_{ex ij} - Model(F_{v ij}, P_{k j}))^2$$

For one foam solution  $j$

Initial guesses for the set of parameters P could be found by investigating limit cases:

$$R_{dfu} \text{ initial guess} = \frac{4F_v}{\pi D_{pool}^2}$$

With the highest foam flow rate  $F_v$  without successful extinguishment

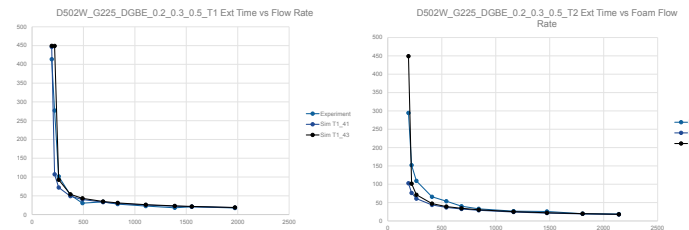
$$U_i \text{ plug initial guess} = \frac{(D_{pool}^2 - 0.01^2 m^2)}{16 R_{t ex} t_{plug}}$$

With the extinguishing time  $t_{ex}$  at the highest foam flow rate

$$R_{dfi} \text{ initial guess} = \frac{F_v - \frac{\pi}{4} D_{pool}^2 R_{dfu}}{\pi H_f D_{pool}}$$

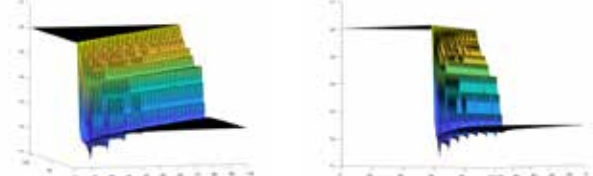
With the median foam flow rate  $F_v$

Depending on the set of data chosen, the quality of the fit of the model to the experimental data varies.



## Numerical Challenges:

The residual for a set of parameters with  $R_{dfu} = 2.333 \cdot 10^{-5}$  m/s,  $R_{dfi} = 0 \dots 5 \cdot 1.8 \cdot 10^{-3}$  m/s,  $U_i = 0 \dots 5 \cdot 0.02$  m/s for the model to 0.2% D502W 0.3% G225 0.5% DGBE\_T1 foam on heptane has been plotted, with  $\ln(\text{residual})$  as the Z-axis and values proportional to  $R_{dfu}$  and  $U_i$  on the X and Y axis. The resulting figures below show that the minimum of the residual is extremely difficult to find, because it is 'hidden' in a narrow valley with many local minima which confuse the minimum seeking algorithm. High numerical effort is necessary to identify the minimum provided by a sophisticated algorithm, e.g. MatLab patternsearch.



## Results

Correlation  $R_{dfu}$  to Degradation time

	5-26	6-7a	6-7b
All (63)	-0.36	-0.43	-0.41
CapStone (9)	-0.12	-0.26	0.05
502W (22)	-0.61	-0.55	-0.51

Correlation  $U_i$  to Cover time

	5-26	6-7a	6-7b
All (63)	-0.03	-0.03	-0.03
CapStone (9)	-0.78	-0.79	-0.69
502W (22)	-0.22	-0.13	-0.17

$$\frac{\sum_i (a_i - \bar{a})(b_i - \bar{b})}{\sqrt{\sum_i (a_i - \bar{a})^2 \sum_i (b_i - \bar{b})^2}}$$

Pearson correlation coefficient (PCC)

Presented are the results of three model runs. Because at 'no extinguishing' there is no associated extinguishment time, it is approximated by a very high extinguishing time. 999s in simulation 5-26 and 999s in simulations 6-7a and 6-7b. To improve the stability of the model, in cases where for one mixture there was extinguishment in all fire tests, additional data was introduced with no extinguishment at flow rate close to zero (6-7a) and half of the lowest tested foam flow rate (6-7b). In all three cases the correlation between destruction by fuel predicted by model ( $R_{dfu}$ ) and foam degradation time is far better for the 502W subset. Similar, for the CapStone (an AFFF) subset the correlation between the velocity of the foam at the foam/fuel interface predicted by the model ( $U_i$ ) and experimental cover time is far better than the other correlations.

This correlation is remarkable, because only very simple assumptions about foam spread, foam destruction by the fuel and destruction by fire at the rim of the foam disc are made. Radiation to the top surface of the foam is ignored.

## References

1. Brian Y. Lattimer, Javier Trelles, Foam spread over a liquid pool, Fire Safety Journal 42 (2007) 249–264
2. Bror Persson and Martin Dahlberg, A Simple Model for Predicting Foam Spread Over Liquids, International Association of Fire Safety Science, Proceeding of the fourth international symposium, pp. 265–276
3. Ramagopal Ananth, Arthur W. Snow, Katherine M. Hinant, Spencer L. Giles, John P. Farley, Synergisms between siloxane-polyoxyethylene and alkyl polyglycoside surfactants in foam stability and pool fire extinction, Colloids and Surfaces A 579 (2019) 123886



# Biologische Gefährdung beim Abpumpen von Schmutzwasser aus Kellern

## Erfassung von Infektionsgefahren im Schmutzwassereinsatz und Einführung geeigneter Gegenmaßnahmen

Alexander Lütke - Hochschule Niederrhein - Feuerwehr Duisburg

### Zusammenfassung

Bei Unwettern und starkem Regen wird die Feuerwehr häufig mit vollgelaufenen Kellern konfrontiert. Bei solchen Ereignissen kann es vorkommen, dass das Wasser in der Kanalisation durch den Regen ansteigt und in die Häuser gedrückt wird. Das Resultat sind überflutete Keller. Die Aufgabe diese wieder leer zu pumpen, bringt einige Gefahren mit sich. Neben der Gefahr z. B. einen elektrischen Schlag zu erhalten, da möglicherweise das Wasser in Kontakt zu spannungsführenden Teilen steht, kann das Wasser selbst eine Gefahrenquelle darstellen. Im Schmutzwasser kann eine Reihe an biologischen Krankheitserregern enthalten sein, mit denen sich der Mensch infizieren kann. Somit stellen, die im Schmutzwasser enthaltenen Krankheitserreger, eine ernsthafte Gefahr für die Einsatzkräfte dar, welcher bis heute noch nicht genug Aufmerksamkeit gewidmet wurde.



Abbildung 1: Vollgelaufener Keller [1]

### Einsatzlagen bei Unwetter und starkem Regen

Beim Abpumpen von Schmutzwasser (sog. Schmutzwassereinsatz) wirken unterschiedliche Gefahren auf die Einsatzkräfte. Eine dieser Gefahren ist die Infektion mit mikrobiologischen Krankheitserregern wie Bakterien, Viren und Parasiten. Diese Gefahren zu erkennen und geeignete Maßnahmen zu definieren ist im Sinne eines zeitgemäßen Arbeitsschutzmanagements.

### Infektionsgefahren

Tabelle 1: Signifikante Organismen im Abwasser [2][3][4]

Bakterien		Viren	Parasiten
<i>Acidovorax</i>	<i>Klebsiella</i>	<i>Humane Adenoviren</i>	<i>Cryptosporidium</i>
<i>Acinetobacter</i>	<i>Kluyvera</i>	<i>Humane Enteroviren</i>	<i>Entamoeba</i>
<i>Aeromonas</i>	<i>Legionella</i>	<i>Humane Rotaviren</i>	<i>Giardia</i>
<i>Arcobacter</i>	<i>Leptospira</i>	<i>Hepatitis-A-Virus</i>	<i>Toxoplasma</i>
<i>Bacillus</i>	<i>Mycobacterium</i>	<i>Hepatitis-B-Virus</i>	
<i>Campylobacter</i>	<i>Prauserella</i>	<i>Humane Coronaviren</i>	
<i>Citrobacter</i>	<i>Pseudomonas</i>	<i>Humane Noroviren</i>	
<i>Clostridium</i>	<i>Raoultella</i>		
<i>Corynebacterium</i>	<i>Salmonella</i>		
<i>E. coli</i>	<i>Shigella</i>		
<i>Enterobacter</i>	<i>Staphylococcus</i>		
<i>Enterococcus</i>	<i>Thermomonas</i>		
<i>Herminiimonas</i>	<i>Yersinia</i>		

### Maßnahmen zur Verhütung einer Infektion

Ziel ist es Maßnahmen zu treffen, welche die Infektionswege durchbrechen und somit den Menschen vor einer Infektion schützen können. Der Schutz des Personals lässt sich durch organisatorische Maßnahmen und durch persönliche Schutzausrüstung (PSA) erreichen.



Abbildung 2: Bakterien aus dem Abwasser

### Organisatorische Maßnahmen

Sicherheit kann bereits vor einem derartigen Einsatz erzeugt werden. Dafür kann durch den Dienstherrn eine arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchung nach G42 angeboten und/oder durch den Arbeitsschutzmediziner ein Impfangebot erstellt werden, um die Einsatzkräfte präventiv auf die Gefahren vorzubereiten. Zusätzlich kann Sicherheit durch den Ablauf des Einsatzes gewährleistet werden, welche im Folgenden dargestellt sind. Durch den Einsatzleiter sollte ein Gefahrenbereich definiert werden, in welchem lediglich fest zugewiesenes Personal arbeitet. Eine Trennung der Einsatzstelle in einen Schwarz-Bereich und einen Weiß-Bereich kann hier zweckmäßig sein. Gerade bei Einsätzen mit Schmutzwasser sollte Wert auf die Einsatzstellenhygiene gelegt werden, um Infektionen z. B. bei der Einnahme von Nahrung oder Getränken zu verhindern. Das Ablegen der Einsatzkleidung und der gesonderte Transport dieser, um eine Kontaminationsverschleppung zu verhindern, werden ebenfalls empfohlen.

Durch persönliche Schutzausrüstung lässt sich die Sicherheit weiter erhöhen. Das Tragen einer Schutzbrille schützt das Auge des Trägers vor Schmutzwasserspritzern. Eine Filtermaske mit mindestens der Filterklasse FFP2 wird empfohlen, um die Inhalation von Krankheitserregern zu verhindern. Einmalhandschuhe werden ebenfalls als zweckmäßig angesehen, da sie zum einen die Hände des Trägers schützen und zum anderen nach dem Kontakt mit Schmutzwasser abgelegt werden können. Somit wird eine Verschleppung der Krankheitserreger vermieden.

Eine Gefährdungsbeurteilung kann beim Autor angefordert werden:

[alexander.luethe@feuerwehr.duisburg.de](mailto:alexander.luethe@feuerwehr.duisburg.de)

### Fazit

Aus dem Schmutzwasser stammende biologische Krankheitserreger stellen für Einsatzkräfte eine große Gefahr dar. Eine Infektion kann eine akute Krankheit auslösen, zu Personalausfall und im schlimmsten Fall, zu Komplikationen durch z. B. Antibiotikaresistenzen bei der Behandlung führen und Langzeitschäden auslösen. Durch den Dienstherrn sollte ein bestmöglicher Schutz des Personals angestrebt werden. Die hier empfohlenen Maßnahmen sind einfach umzusetzen. Dies liegt daran, dass Schutzbrillen, FFP2-Masken sowie Einmalhandschuhe Stand der Technik sind und auf den meisten Löschfahrzeugen mitgeführt werden. Sind diese nicht vorhanden, ist ein Nachrüsten ohne hohe Kosten möglich.

### Literatur

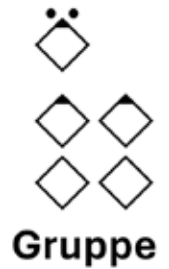
- [1] Abbildung 1 (Vollgelaufener Keller) von kamera24
- [2] DGUV Information 203-051; *Sicherheit und Gesundheitsschutz im Abwasserbereich*; Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV); Januar 2010
- [3] Grohmann, A. et al.; *Wasser: Chemie, Mikrobiologie und nachhaltige Nutzung*; De Gruyter; Berlin; 2011
- [4] Schleichner, M.; *Identifikation und Detektion von Indikatororganismen in technischen Systemen*; TU Berlin; 2018

# Standardisiertes Vorgehen und dessen systematische Darstellung zur Optimierung von Sicherheit und Performance im SRHT-Einsatz

## Von der Gruppe zum Team

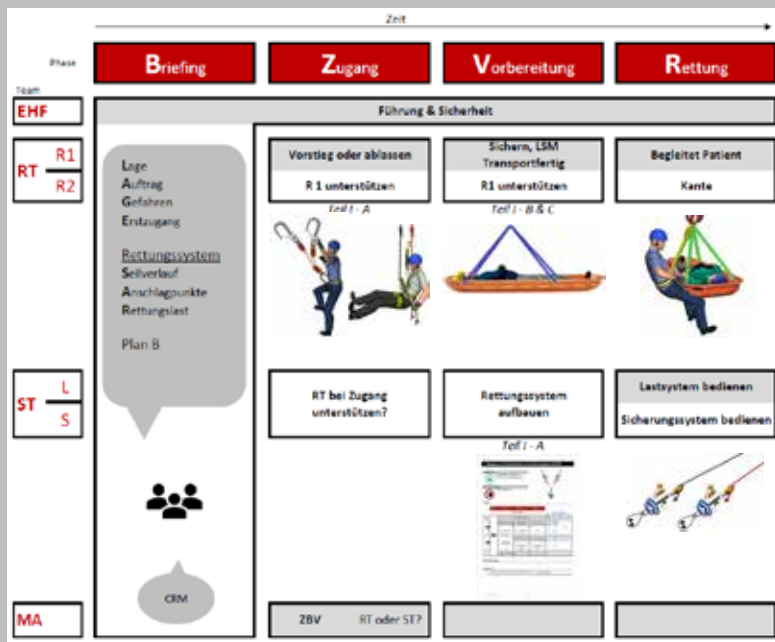
**IST-ZUSTAND:** FwDV bilden Rahmen der Tätigkeiten in der Feuerwehr; Struktur, materielle Anforderungen und taktische Grundvarianten für SRHT-Gruppe von AGBF empfohlen; -> Nicht-technische Fertigkeiten werden kaum betrachtet

**IDEE:** Fachliche Vorgaben und nicht-technischen Fertigkeiten vereinen; Einsatzabläufe vereinheitlichen und geteiltes Situationsbewusstsein der Gruppe fördern; Dadurch Gruppe zum Team entwickeln



**KONZEPT:**

### 4-Phasen-Modell

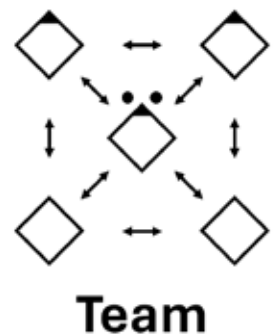


### Werkzeug

SER  
Takt. Arbeitsblatt  
Systemkomponenten  
Med. Versorgung  
Material  
Bibliothek

### Kultur

Training  
Kommunikation  
Merkhilfe  
CRM  
Supervision



In der Feuerwehr versteht man unter dem Begriff Höhenrettung die Spezielle Rettung aus Höhen und Tiefen (SRHT). Die Feuerwehr-Dienstvorschriften (FwDV) bilden den Rahmen für Tätigkeiten in der Feuerwehr. Die Empfehlung „SRHT“ der Arbeitsgemeinschaft der Leiter der Berufsfeuerwehren (AGBF) bildet die fachliche Grundlage für SRHT-Gruppen. Beschrieben werden Struktur, Ausbildung, Material und taktische Grundvarianten der Gruppe. Das vorliegende Projekt vereint die fachlichen Vorgaben mit nicht-technischen Fertigkeiten und versucht aus der Gruppe ein Team zu entwickeln.

Das 4-Phasen-Modell ist zentrales Element des Konzepts. Jeder Einsatzkraft wird in Einsatzphasen eine bestimmte Rolle zugeordnet. Werkzeuge, die auf dieses mentale Modell abgestimmt sind, dienen als Hilfestellung im Einsatz.

Durch Anwendung in der Gruppe entwickelt sich ein Bewusstsein für menschliche Faktoren und daraus resultierende Risiken wie Stress, Missverständnisse oder Fixierungsfehler. Diese werden als Gefahr berücksichtigt und in einer gebildeten Kultur vom gesamten Team kompensiert.

Training und Supervision können die Teamperformance der SRHT-Einheit nachhaltig verbessern.

Der Einsatz wird für alle Beteiligten sicherer.

### Literatur

- (1) Arbeitsgemeinschaft der Leiter der Berufsfeuerwehren AK Ausbildung Bund, 2019. Empfehlung der AGBF – Spezielle Rettung aus Höhen und Tiefen
- (2) Haverney F., Wölke P., 2015. Die roten Hefle, Band 79: Höhenrettung, 2. überarbeitete und erweiterte Auflage, Kohlhammer, Stuttgart
- (3) Rall M., Langewand S., 2022. Crew Resource Management für Führungskräfte im Gesundheitswesen, Springer Verlag GmbH Deutschland, 2022
- (4) Zeichnungen Seilsysteme: erstellt mit vRigger von Iterum LLC

Feuerwehr Waldshut-Tiengen  
Höhenrettung  
Von-Opel-Straße 2A  
79761 Waldshut-Tiengen

### Thilo Maier

Student Humanmedizin  
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg  
thilo.maier@fw-waldshut-tiengen.de

### Alexander Sinsig

Student Rettungswesen und Notfallversorgung  
Ernst-Abbe-Hochschule Jena  
sinsig.alexander@gmail.com

# Dynamisch erstellte Feuerwehrlaufkarten in der Praxis

## Anforderungen und Umsetzung am Beispiel einer Werksfeuerwehr

Dr.-Ing. Ulrich Mann, Dipl.-Ing. Jürgen Telschow-Schroeder  
CLiB Computerlösungen im Bauwesen GmbH, Hamburg



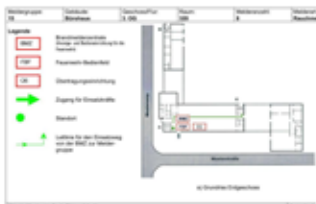
### Einleitung

Die dynamische Anzeige von Flucht- und Rettungswegen ermöglicht eine zielgerechte und zuverlässigere Evakuierung aus Gebäuden. Umgekehrt ermöglichen dynamisch erstellte Feuerwehrlaufkarten eine zielgerichtete Vorbereitung und schnelleren Zugang zum Einsatzort. Die zu erwartende Effizienzsteigerung ermöglicht auch die Verbesserung der Wirtschaftlichkeit im Sinne der beteiligten Unternehmen. Unter „dynamisch“ wird dabei die auf den Moment der Alarmauslösung bezogene Situation und der daraus berechnete günstigste Zugang verstanden. Dies kann sowohl der schnellste oder kürzeste Weg sein (z.B. für den Angriff) oder auch der ökonomischste Weg (z.B. ohne Kollateralschäden in der laufenden Produktion für eine Erkundung) im Fall einer Testauslösung.

### Stand der Technik: Dynamische Fluchtweglenkung n. DIN 14036

- Dynamisch: Richtungsvariabler Fluchtweg wird in Abhängigkeit von vordefinierten Gefährdungssituationen angezeigt
- Vordefinierte Wege ergeben sich aus einer Gefährdungsbeurteilung
- Dynamische Entscheidungsfindung mit weiteren Parametern: Art d. Räumlichkeiten, Nutzung, Weglänge, zusätzliche Gefahren, Hindernisse etc. (vgl. ZVEI)
- Adaptiv: Nach Auslösung wird ggf. ein Fluchtweg kontinuierlich einer geänderten Gefährdungssituation angepasst

### Stand der Technik: Feuerwehrlaufkarte n. DIN 14675



- Statisch, ein festgelegter Zugang
- Keine Differenzierung nach Meldungsart
- Keine kurzfristigen Änderungen, Aktualisierungen im Zugriff
- Keine flexible Verfügbarkeit der Pläne

- Bereitstellung i.d.R. an festgelegtem Punkt
- Bester Zugang im Brandfall
- Vereinheitlichte Darstellung für Übersichtlichkeit, Verständlichkeit
- Fristen & Prozess zur Aktualisierung

### Dynamisch erstellte Feuerwehrlaufkarten: Lageplan mit Anfahrts Hinweisen



Prozess zur Aktualisierung:

- Werkschutz
- Sicherheitstechnik
- Gebäudemanagement
- Feuerwehr

Dynamisch: nach Ort und aktueller Verkehrssituation optimierte Zufahrt

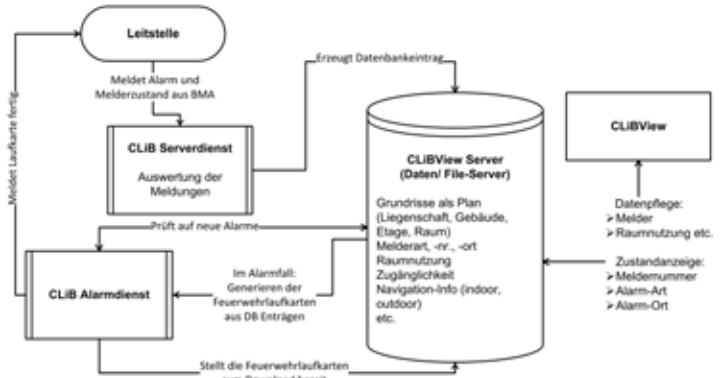
Digital: Laufkarten stehen bereits beim Ausrücken bereit

### Dynamisch erstellte Feuerwehrlaufkarten: Alternativer Laufweg

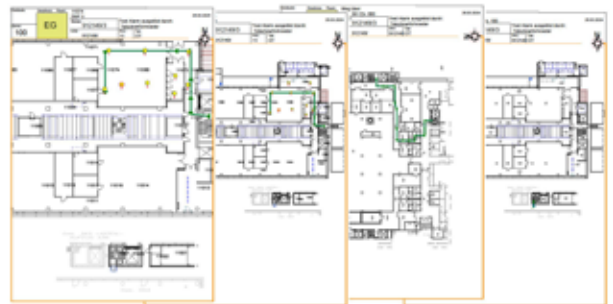


- Alarm-Art: Alarm, Probe, Störung, Simulation, Voralarm etc.
- Melderart, -ort
- Weitere Parameter: bauliche Veränderungen, Nutzung, Gebäudezugänge etc.
- Dynamisch, abhängig von Ort, Art und Zugänglichkeit wird ein Satz Laufkarten erzeugt
- Festgelegte Anlaufpunkte am Gebäude können ggf. entfallen
- Ortsunabhängige Verfügbarkeit der Laufkarten

### Feuerwehrlaufkarten aus granularen Daten: Aufbau, Funktionen und Ablauf



### Feuerwehrlaufkarten aus granularen Daten: Umsetzung



### Feuerwehrlaufkarten aus granularen Daten: Darstellung von örtlichen Bezügen



### Zusammenfassung

- Die dynamische Erzeugung von Feuerwehrlaufkarten verbessert die Beurteilung von Gefahrenlagen und Einsatz der Feuerwehr
- Digitale Laufkarten ermöglichen die ortsunabhängige Bereitstellung bereits beim Ausrücken der Feuerwehr
- Die notwendige Aktualität der Daten erfordert eine Optimierung der betroffenen Unternehmensprozesse zur Wartung der Datenbank
- Die Laufkarten werden erst im Alarmfall aus den Informationen in der Datenbank erstellt, damit wird die Aktualität sichergestellt

### Literatur/ Quellen:

- DIN 14036:2023-12 (2023), Dynamische und Adaptive Fluchtweglenkung – Planung und Umsetzung von richtungsvariablen Konzepten. Berlin: Beuth
- DIN 14095:2022-10 (2022), Feuerwehrpläne für bauliche Anlagen. Berlin: Beuth
- DIN 14675-1:2020-01 (2020), Brandmeldeanlagen – Teil 1: Aufbau und Betrieb. Berlin: Beuth
- ZVEI, Neue Konzepte für richtungsvariable Sicherheitsbeleuchtung, Mai 2022. Frankfurt: ZVEI e.V.

# Sicherstellung des zweiten Rettungsweges über Rettungsgeräte der Feuerwehr im innerstädtischen Bereich

Pascal Müller, Alexander Renner & Erik Becker

Studiengang Sicherheit und Gefahrenabwehr

Hochschule Magdeburg-Stendal, Fachbereich Wasser, Umwelt, Bau & Sicherheit

## Allgemein

Die Autoren sind Studenten des Bachelorstudiengangs Sicherheit und Gefahrenabwehr an der Hochschule Magdeburg-Stendal und der Otto-von-Guericke Universität Magdeburg. Diese Studie wurde Rahmen einer Projektarbeit im 5. Fachsemester angefertigt.

## Problemstellung

In Deutschland müssen Wohngebäude zwei voneinander unabhängige Rettungswege vorweisen. Der zweite Rettungsweg kann zur Rettung von Menschenleben durch Rettungsgeräte der Feuerwehr sichergestellt werden. Dafür sind einige Anforderungen an die Aufstellflächen, Bebauung und Anleiterstellen der Gebäude zu erfüllen. Im innerstädtischen Bereich können hier jedoch aufgrund geänderter Gegebenheiten an bestehenden Gebäuden und sich ändernden Umgebungen Komplikationen auftreten. Dazu sollte in dieser Arbeit eine empirische Untersuchung durchgeführt werden, um aufzuzeigen bei welchem Anteil von Nutzungseinheiten eine Rettung über Rettungsgeräte der Feuerwehr möglich ist.

## Grundlagen

Die Rettungsgeräte der Feuerwehr lassen sich mit den tragbaren Leitern und den Hubrettungsfahrzeugen in zwei Kategorien einteilen. Bei den tragbaren Leitern wurde die Steckleiter mit einer Rettungshöhe von 8 m und bei den Hubrettungsfahrzeugen die Drehleiter mit Korb 23/12 (DLK 23/12) mit einer Rettungshöhe von 23 m näher betrachtet. Aber auch die dreiteilige Schiebleiter wurde aufgrund der Verfügbarkeit bei den Feuerwehren mitbetrachtet. Soll der zweite Rettungsweg über Geräte der Feuerwehr sichergestellt werden, müssen am Objekt einige Anforderungen erfüllt sein. Die Richtlinie über Flächen für die Feuerwehr macht dazu diverse Vorgaben. So darf der Abstand zum Objekt eine bestimmte Entfernung nicht überschreiten und die Flächen müssen ausreichend befestigt und erreichbar sein.

## Hindernisse

Eine Rettung über Rettungsgeräte der Feuerwehr kann durch verschiedenste Dinge verhindert werden. Diese Hindernisse können nach Art und zeitlicher Bedingung kategorisiert werden. Dabei lassen sich diese zeitlich in permanente und temporäre und nach Art in bauliche und organisatorische Hindernisse unterteilen. Betrachtet man diese Hindernisse in Verknüpfung von Art und zeitlicher Einordnung ergeben sich vier Kategorien.

	Baulich	Organisatorisch
Permanent	Irreversibel z. B. Baumbestand	Situativ z. B. Parkflächen
Temporär	Situativ z. B. Baustellen	Reversibel z. B. Falschparker

Abbildung 1 – Hindernisübersicht über Dauer, Art und Relevanz

Permanent bauliche Hindernisse werden dabei als irreversibel erklärt, da zum Beispiel ausgewachsene Bäume nicht spontan beseitigt werden können. Bei vorgesehenen Parkflächen, die ein Permanent organisatorisches Hindernis darstellen, könnte jedoch mit einer organisatorischen Maßnahme Abhilfe geschaffen werden. Temporär bauliche Hindernisse, durch zum Beispiel Baustellen, werden ebenfalls als situative Hindernisse eingestuft, da auch diese nicht dauerhaft vorhanden sind, aber auch nicht kurzfristig beseitigt werden können. Als Reversibel werden die temporär organisatorischen Hindernisse wie beispielsweise Mülltonnen, eingestuft, da diese meist noch kurzfristig an der Einsatzstelle beseitigt werden können.

## Methodik

Festlegung der Parameter einer erfolgreichen Rettung

- geeignete Aufstellfläche vorhanden
- zur Rettung geeignetes Fenster vorhanden
- Anleiterweg nicht durch Hindernisse beeinträchtigt

Objektauswahl

- Berechnung der Stichprobengröße
- zufällige Auswahl der zu betrachtenden Straßen
- Auswahl von 4 Objekten in den Straßen

Auswertung

- nach Nutzungseinheiten
- nach Fenstern
- Berechnung von Konfidenzintervallen

Dokumentation

- Erstellen eines Onlineformulars mit Microsoft Forms
  - Abfrage von Objektdaten
  - Abfrage der Anleiterbarkeit

## Datenerhebung

- Anfahren der ausgewählten Straßen
- Beurteilung der Anleiterbarkeit mit Laser Entfernungsmesser
- Speichern der Daten in Onlineformular
- Begutachtung von:
  - 32 Objekten
  - 367 Nutzungseinheiten
  - 1336 Fenstern

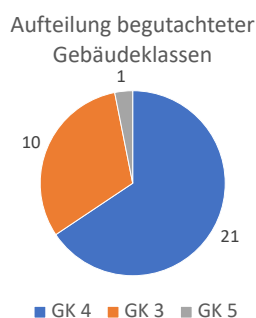


Abbildung 2 – Übersicht begutachteter Gebäudeklassen

## Auswertung nach Nutzungseinheiten

Von den 367 erhobenen Nutzungseinheiten lassen sich 354 Nutzungseinheiten anleiten. Das entspricht einem Anteil von ca. 96,5%. Auffällig dabei ist, dass in den obersten und untersten Geschossen eine vollständige Anletermöglichkeit vorliegt. Mit 28 von 37 Geschossen lassen sich im 4. Obergeschoss anteilmäßig die wenigsten Nutzungseinheiten anleiten.

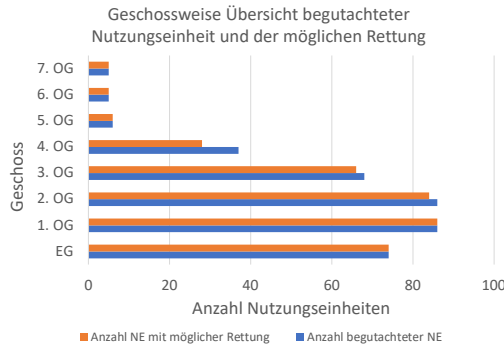


Abbildung 3 – Geschossweise Übersicht begutachteter Nutzungseinheiten und deren mögliche Rettung

## Übersicht erreichbare NE Gesamt

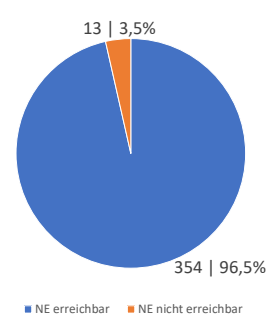


Abbildung 4 – Übersicht erreichbare Nutzungseinheiten Gesamt

## Auswertung nach Fenstern

Mit ca. 96,3% lassen sich 1286 von 1336 aufgenommenen Fenstern anleiten. Auch hier ist in den obersten und den untersten Geschossen eine fast vollständige Anletermöglichkeit gegeben.

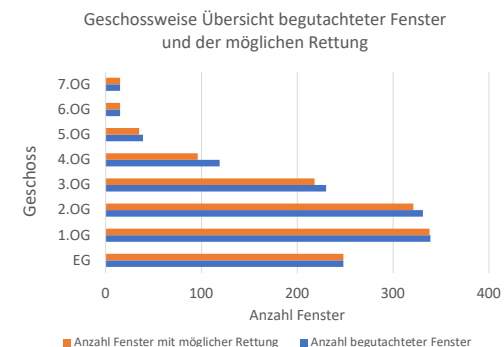


Abbildung 5 – Geschossweise Übersicht begutachteter Fenster und deren mögliche Rettung

## Übersicht erreichbare Fenster Gesamt

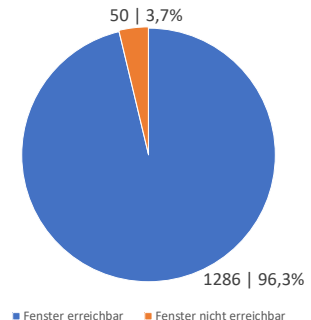


Abbildung 6 – Übersicht erreichbare Fenster Gesamt

## Aufgetretene Hindernisse

Insgesamt konnten an acht Objekten Hindernisse festgestellt werden. Diese wurden in die Kategorien Bäume, Oberleitungen und sonstige unterteilt. Dabei trat der Baumbewuchs bei 5 von 8 Objekten am häufigsten auf.

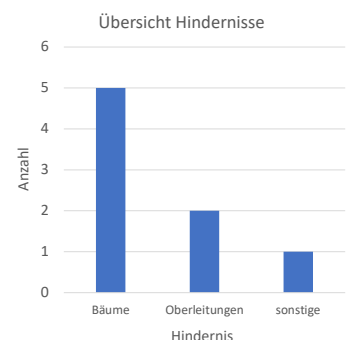


Abbildung 7 – Übersicht über Art und Anzahl der Hindernisse

## Rettungsmittel

Final wurden noch die einzelnen Rettungsmittel miteinander verglichen. Obwohl mit der Drehleiter am meisten Geschosse erreicht werden könnten, lassen sich mit der dreiteiligen Schiebleiter am meisten Nutzungseinheiten anleiten. Dies ist auf die geringeren Anforderungen von tragbaren Leitern und den geringeren Anteil der Geschosse oberhalb des 3. Obergeschosses zurückzuführen.

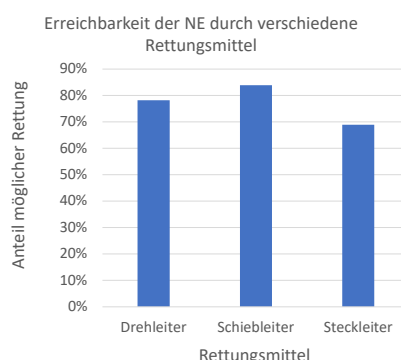


Abbildung 8 – Erreichbarkeit der Nutzungseinheiten mit verschiedenen Rettungsmitteln

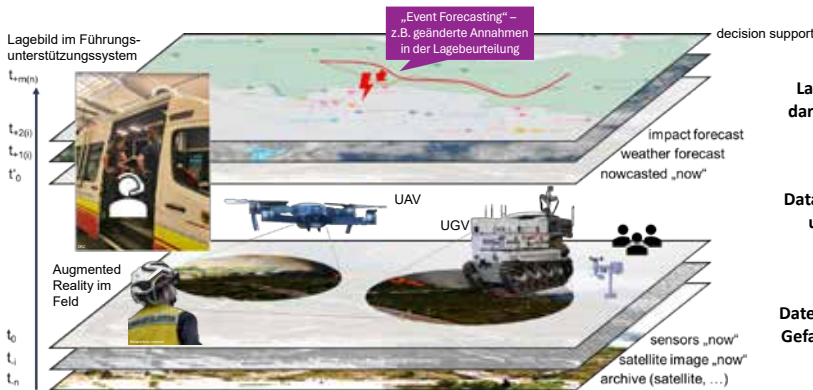
## Fazit

- geringe Abweichungen zwischen der Auswertung nach Nutzungseinheiten und Fenstern
- nach Berechnung von Konfidenzintervallen, finale Wahrscheinlichkeiten der möglichen Rettung:
  - 94% bei Auswertung nach Nutzungseinheiten
  - 95% bei Auswertung nach Fenstern
- Betrachtung weiterer Städte, um Repräsentanz auf Bundesgebiet zu erhöhen
- durch einfache Maßnahmen der Eigentümer (z.B. Baumbeschnitt) wäre eine Rettung häufiger möglich

## Lagedarstellung, Maßnahmenplanung und Entscheidungsunterstützung: Extreme Daten nutzbar machen!

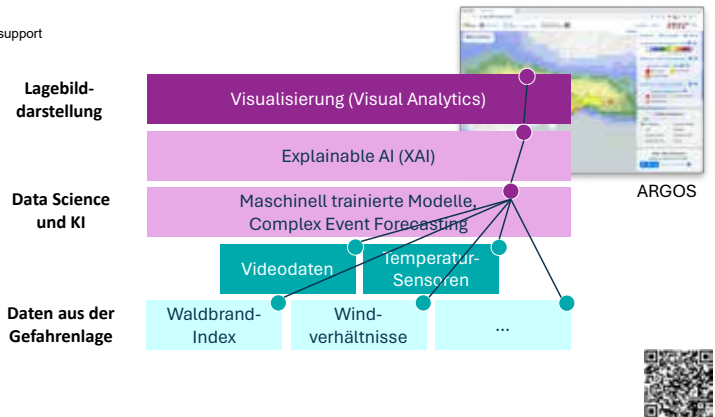
### Motivation

Extremes Wetter – extreme Lage – extreme Daten: Extremwetterlagen sind zwar anhand von stetig verbesserten Wettervorhersagen zu antizipieren, tatsächliche Auswirkungen lassen sich jedoch nur schwer abschätzen. Auch bei vorausschauender Einsatzplanung stehen Entscheidungsträger vor der extremen Herausforderung, ein aktuelles Lagebild aus globalen Wetter-daten und der lokalen Lageerkundung zu formen – und darauf den Einsatz der begrenzten Einsatzkräfte zu priorisieren. Die Wirkung von vorbeugenden und vorbereitenden Maßnahmen müssen Hand in Hand mit abwehrenden Maßnahmen laufen, um Kommunen besser auf solche Lagen vorzubereiten und ihre Resilienz in Bezug auf den Klimawandel zu stärken.



### Zielsetzung des Projekts

Das EU-Projekt CREXDATA bietet die Chance, mit neuartigen Technologien der Künstlichen Intelligenz zu experimentieren. Ausgangspunkt ist das laufende Lageinformationssystem ARGOS aus dem EU-Projekt ANYWHERE, das Wetterdaten und -vorhersagen und Auswirkungenanalysen bereits von Katastrophenschutzbehörden, Kommunen und Unternehmen in Spanien und Irland operativ eingesetzt wird. Technologien reichen dabei von der Datenauswertung z. B. von Rettungsrobotern bis zu einer "erklärenden" Schicht (Explainable AI/XAI) – die im Führungsstab auf der Lagekarte eingeblendet, oder im Feld mittels Augmented Reality sichtbar gemacht werden kann.



### Forschungsfragen

- ▶ Müssen Informationen, die mittels Algorithmen der Künstlichen Intelligenz generiert wurden, anders als diejenigen aus der klassischen Lageerkundung und -beurteilung visualisiert werden?
- ▶ Macht es einen Unterschied, ob die Unsicherheit von Informationen auf Algorithmen oder Zeugen vor Ort beruht?
- ▶ Welchen Einfluss hat es auf die Maßnahmenplanung und Entscheidungsfindung, aus welchem Algorithmus eine Handlungsempfehlung resultiert?

### Methodisches Design

CREXDATA entwickelt innovative Ansätze zur effizienten Nutzung lokaler und globaler Datenquellen, einschließlich Satelliten-, Sensor- und Wetterdaten, um komplexe Ereignisse wie Naturkatastrophen besser verstehen und reagieren zu können. Das Projekt konzentriert sich auf die Entwicklung von Algorithmen zur Datenerfassung, -verarbeitung und -visualisierung mit besonderem Augenmerk auf die Erklärbarkeit der Ergebnisse. Besonders der Umgang mit Extremwetterereignissen steht im Fokus der Feuerwehr Dortmund, des Deutschen Rettungsrobotik-Zentrums (DRZ), des Disaster Competence Networks Austria (DCNA), des Innenministeriums in Finnland und der Universität Paderborn. Im Verbund von insgesamt 15 Partnern, u.a. das Finnish Meteorological Institute und HYDS mit ARGOS wird das System Technologien wie das Complex Event Forecasting zu einem „Prediction-as-a-Service“-System zusammenführen. Das System wird dabei in drei Fallbeispielen erprobt: Neben der Entscheidungsunterstützung in Extremwetterlagen stehen die Kollisionsvermeidung auf hoher See und die Eindämmung von Infektionsgeschehen in Pandemien im Fokus.

### Ergebnisse und Ausblick

Initiale Evaluationen von Systemkomponenten mit Anwendern werden im Mai und Juni 2024 durchgeführt. Dabei werden reproduzierbare Testszenarien genutzt. Beispiele sind die Kontrolle der Wasserwirtschaft im urbanen Raum, Räumungsmaßnahmen, die Erkennung von Gebäudeöffnungen und die Visualisierung der schnellsten Routen.



**Entwicklung eines Werkzeugkastens** für die Aufnahme und Integration von extremen Daten sowie realistischer Simulationsmodelle und -werkzeuge.

**Generierung von Vorhersagen in Echtzeit**, einschließlich föderiertem Lernen, Vorhersage komplexer Ereignisse unter Unsicherheit und Techniken für „Prediction-as-a-Service“.



**Reduzierung der wahrgenommenen Komplexität** durch grafische Gestaltung von Arbeitsabläufen und visuelle Analytik kombiniert mit verständlichen KI-Ansätzen und Augmented Reality.

Scheller Jan-Gabriel - Kammerholz - Entwicklung von Hybridbauteilen aus Stahl und Holz zur Erhöhung der Tragfähigkeit und der Feuerwiderstandsdauer von Stahltragwerken

# Grundlagen für Brandsimulationen mit begrünten Fassaden vom Mikro- zum Labormaßstab – vfdB-Jahresfachtagung 2024



## Anlass

Gegenwärtig werden Brandausbreitungsverhalten an Grünfassaden ausschließlich im Rahmen realmaßstäblicher Brandversuche untersucht [1]. Computergestützte Brandsimulationen bieten hingegen eine kosten- und zeiteffiziente Möglichkeit das Brandausbreitungsverhalten unter Variation der Umgebungsbedingungen sowie der Brennstoffeigenschaften zu berechnen. Zurzeit existiert kein Modell, das valide Brandausbreitungsberechnungen bei Grünfassaden ermöglicht.

## Lösungsweg

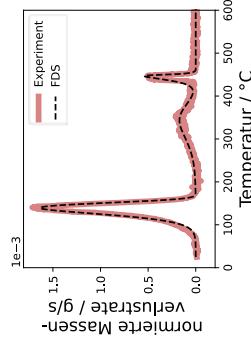
Mit dem Fire Dynamics Simulator kann die Brennstoffzerlegung bei Feststoffbränden prognostiziert werden (komplexes Pyrolysemodell). Organische Brennstoffe, wie zum Beispiel Blätter und Äste, können in FDS anhand Lagrange-scher Partikel modelliert werden. [2] Einige Brennstoff- bzw. Materialeigenschaften zur Beschreibung der Pyrolyse können nicht gemessen werden, sondern müssen aus skalenerübergreifenden Experimenten in Kombination mit einem computergestützten iterativen Verfahren (inverse Modellierung) abgeleitet werden. Bei der inversen Modellierung werden Experimente aus der Mikro- und Makroskala in FDS unter Variation der virtuellen Materialeigenschaften nachgerechnet. Bei Erreichen einer hinreichend genauen Übereinstimmung zwischen den Experimenten und den Simulationen müssen die geeigneten virtuellen (effektive) Materialeigenschaften auf deren Verwendbarkeit in der nächstgrößeren Skala (Labormaßstab) validiert werden. [3],[4] Im Folgenden werden Grundlagen für die Pyrolysemodellierung und Validierung für Feuepflanzen (Hedera Helix) vorgestellt (vgl. [5]).

## Projektbeteiligte

Das Forschungsthema wurde im Rahmen einer Masterarbeit im Studiengang "Sicherheit und Gefahrenabwehr" an der Hochschule Magdeburg – Stendal von Johannes Schliebe untersucht. Die Arbeit wurde von Manuel Osburg (Brandschutz Consult Leipzig) und Prof. Kampmeier (Hochschule Magdeburg – Stendal) betreut. Experimentelle Arbeiten wurden finanziell vom Forschungszentrum Jülich (IAS-7) sowie vom Verein zur Förderung von Ingenieurmethoden im Brandschutz e.V. (VIB) unterstützt.

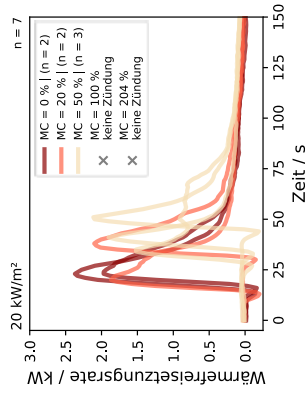
## Mikroskala: TGA

Bei einer Thermogravimetrischen Analyse wurde ein vitales Efeublatt (Masse  $\sim 0,3$  g, initialer Feuchtegehalt (MC)  $\sim 220$  %) von Zimmertemperatur mit  $5\text{K}/\text{min}$  auf  $900^\circ\text{C}$  erwärmt. Aus den Messdaten zur Massenverlustrate konnten in FDS die Arrhenius-Parameter für Efeublätter mit Hilfe der „PYROLYSIS\_RANGE“ und „PYROLYSIS\_TEMPERATURE“ ermittelt werden. (Verfahren nach [4])



## Makroskala: Cone-Kalorimeter:

Im Cone-Kalorimeter (CK) wurde das Brandverhalten unterschiedlich feuchter Proben (15 Efeublätter je Probe) unter Variation der exponierten Wärmestromdichte untersucht. Aus den Experimenten können thermodynamische Materialeigenschaften ( $c_p$ ,  $\epsilon$ ,  $\lambda$ ) abgeleitet werden. [4] ( $n$  = Anzahl Versuche)



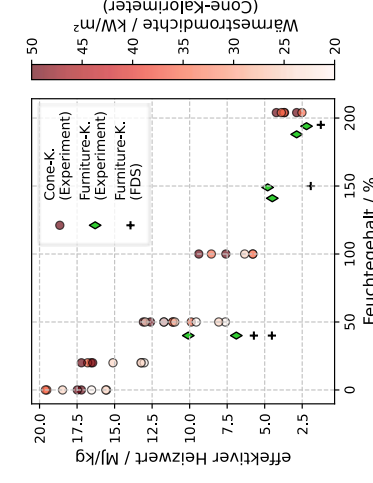
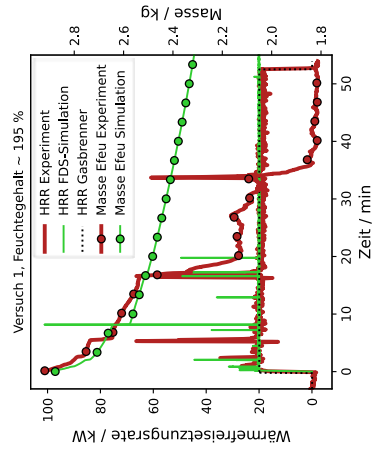
## Fazit und Ausblick

Die FK-Versuche lassen sich in Trocknungs- und Verbrennungsvorgänge unterscheiden. Während den Trocknungsvorgängen fließt ausschließlich die Grundleistung des Gasbrenners (20 / 40 kW) in die Bilanz der Wärmefreisetzung ein. Sobald genügend trockene Vegetation vorhanden ist, finden strohfeuerartige Verbrennungsvorgänge mit Wärmefreisetzungsraten von bis zu 80 kW (Angabe ohne Grundleistung Gasbrenner) statt. Das entwickelte **FDS-Modell** bildet ein **ähnliches Trocknungs- und Brandverhalten** ab. Jedoch wird in allen Simulationen die Brandlast (vgl. effektive Heizwerte) unterschätzt. Im präsentierten FDS-Modell sind die Pyrolyseparameter für die Blätter und Äste identisch. Zur **Optimierung und Weiterentwicklung** müssen eigenständige Pyrolyseparameter für die Äste ermittelt werden.

## Labormaßstab: Furniture-Kalorimeter

In einem Furniture-Kalorimeter (FK) wurden  $1\text{ m} \times 1,40\text{ m}$  große Efeubegrünungen mit unterschiedlichen Feuchtegehalten und Zündinitialen verbrannt (vgl. Abbildung 1). Dabei wurden die Wärmefreisetzungs- und Massenverlustraten gemessen. In der nebenstehenden Tabelle ist eine Versuchsübersicht zu sehen. Aus den Mikro- und Makroskalenexperimenten wurden Pyrolyseparameter für Efeublätter in FDS ermittelt. Anhand der Labormaßstabexperimente kann das Pyrolysemodell validiert werden.

Im linken Diagramm ist ein Vergleich zwischen den Wärmefreisetzungsraten (HRR) und Massen aus Versuch 1 mit der zugehörigen FDS-Simulation zu sehen. Im rechten Diagramm werden effektive Heizwerte mehrerer Experimente und Simulationen dargestellt. Die Simulationen wurden mit  $2,5\text{ cm-Gitterweite}$  in der FDS-Version 6.8.0 gerechnet.



<sup>1</sup> Die Wurzeln der Pflanzen wurden 5 Tage vor Versuchsbeginn abgeschnitten. Danach wurden die Pflanzen 5 Tage bei Zimmertemperatur gelagert.

<sup>2</sup> Die Wurzeln der Pflanzen wurden 14 Tage vor Versuchsbeginn abgeschnitten. Danach wurden die Pflanzen 14 Tage bei Zimmertemperatur gelagert. Die Schwankungen der Feuchtegehalte vor bei den Blättern gegenüber den Blättern aus den Versuchen 1-4 deutlich größer.

Versuch	Feuchtegehalt Blätter	Propan-gasbrenner
1 + 2	$\sim 195\%$ (vital)	20 kW
3 + 4	$\sim 150\%$ <sup>1</sup>	20 kW
5	$\sim 0 - 80\%$ <sup>2</sup>	20 kW
6	$\sim 0 - 80\%$ <sup>2</sup>	40 kW



Abbildung 1: Brandversuche Furniture-Kalorimeter

## Quellen

- [1] Forschungsprojekt Fire-Safe Green: Untersuchung der brandchutztechnischen Anwendbarkeit von begrünten Fassaden an mehrgeschossigen Gebäuden, <https://www.cee.ed.tum.de/hbb/forschung/laufende-forschungsprojekte/fire-safe-green/>
- [2] K. McGarrath et al., Fire Dynamics Simulator, User's Guide , sixth, '10, NIST Special Publication, National Institute of Standards, Technology, Gaithersburg, Maryland, USA
- [3] L. Arnold et al., „PROPTI—A Generalised Inverse Modelling Framework“, Journal of Physics: Conference Series , Jg. 1107, Nr. 3, S. 032 016, Nov. 2018, doi: 10.1088/1742-6596/1107/3/032016 , Adresse: <https://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/1107/3/032016> .
- [4] T. Hehnen und L. Arnold, PMMA Pyrolysis Simulation – from Micro- to Real-Scale , 2023, arXiv: 2303.17446 [physics.flu-dyn] .
- [5] Schliebe, J., Erarbeitung von Grundlagen zur Simulation der Brandausbreitung auf begrünten Fassaden, Masterarbeit, Hochschule Magdeburg/Stendal, Otto-von-Guericke Universität Magdeburg, 10.12.2023.



## Waldbrandservice im Projekt ResKriVer

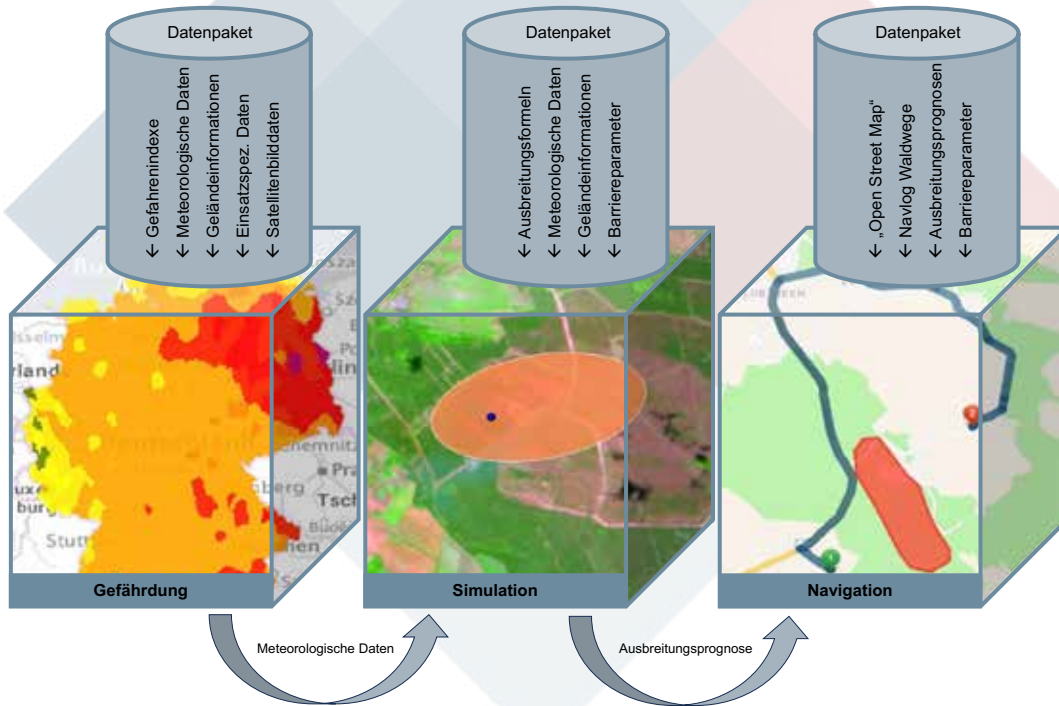
### - Von der Gefährdung bis zum (Gefahren-) Routing -

#### (Einsatz-) Relevante Informationen

- Darstellung von aktuellen und prognostischen Vegetationsbrandgefahren sowie relevanten meteorologischen Daten
- Simulation einer Brandausbreitung auf Grundlage aktueller meteorologischer Bedingungen
- Fahrzeugnavigation um ausbreitungs- und einsatzspezifische Barrieren

#### Mehrwerte des Services

- Überlagerung verschiedener Indexe zur realitätsnahen Darstellung der Gefahrenlage
- Ausbreitungssimulation als „rule of thumb“ der prognostischen Ausbreitung eines V-Brandes
- Fahrzeugrouting auf Grundlage der prognostischen Brandausbreitung und dem Platzieren einsatzspezifischer Barrieren



## Projekt ResKriVer (Resiliente Krisenrelevante Versorgungsnetze)

Ziel des Vorhabens ResKriVer ist die Entwicklung und Umsetzung von digitalen Services zur Sammlung, Generierung und Kommunikation von krisenrelevanten Informationen und zur Prognose der Auswirkungen von Versorgungsengpässen in den Versorgungsnetzen von Unternehmen und öffentlichen Bedarfsträgern. Anhand unterschiedlicher Anwendungssituationen aus unterschiedlichen Krisen- und Katastrophenszenarien soll demonstriert werden, wie sich die Resilienz von Versorgungsnetzen krisenrelevanter Güter und Ressourcen präventiv analysieren und steigern lässt. Das Forschungsprojekt ResKriVer schafft Lösungen zur effektiven Bewältigung von Krisensituationen und sorgt für eine Minimierung ihrer Folgen. Dies wird vor allem durch die Digitalisierung analoger Prozesse und einer intelligenten, KI-basierten Datenverarbeitung ermöglicht. Das Konsortium setzt sich aus zwölf Partnern aus Wissenschaft, Wirtschaft und Praxis zusammen.



[www.reskriver.de](http://www.reskriver.de)

#### Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

#### Autoren & Kontakt

Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes e.V. (vfdb) | Pascal Schmitz, M.Sc. | [schmitz@vfdb.de](mailto:schmitz@vfdb.de)  
 Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes e.V. (vfdb) | Patrick Kahle, M.A. | [kahle@vfdb.de](mailto:kahle@vfdb.de)

Projektlaufzeit: 01.06.2021 – 31.05.2024





# Wissensmanagement in Feuerwehren

## skalierbare IT-Architektur für Erweiterung und Austausch

### Herausforderungen



Feuerwehr

- Jede Gemeinde hat eine eigene Feuerwehr
- Verbindung zu verschiedenen anderen Behörden
- Rechtliche Einschränkungen (z.B. Datenschutz) [2]
- Meist freiwilliges Personal



Digitalisierung

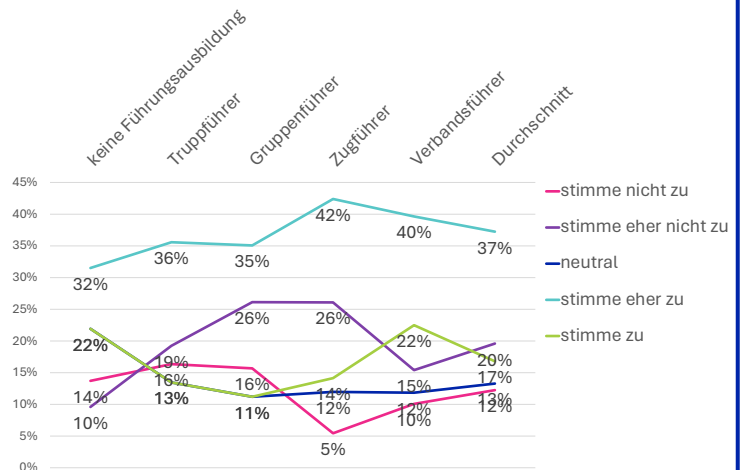
- IT-Wissen in Feuerwehren wenig vorhanden [1]
- Ablehnung von IT-Lösungen [3]
- Wunsch nach digitaler Unterstützung ist vorhanden [1]
- Unterschied Informations- und Wissensmanagement [1]
- Schnittstellen nicht vorhanden oder proprietär [2]



Wirtschaft

- Orientierung an beruflichen Anforderungen
- Finanzierung bei Feuerwehren schwieriger [1, 2]
- Feuerwehr ist föderal strukturiert
- Bestehende Wissensmanagementsysteme nicht auf Teilen von Wissen ausgelegt [1]

„Ich habe das Gefühl, dass mir alle aktuellen und neuen Informationen zur Verfügung stehen.“ – nach Führungsstufe gruppiert [1]



### Lösungsvorschlag

Inhaltliche Speicherung von

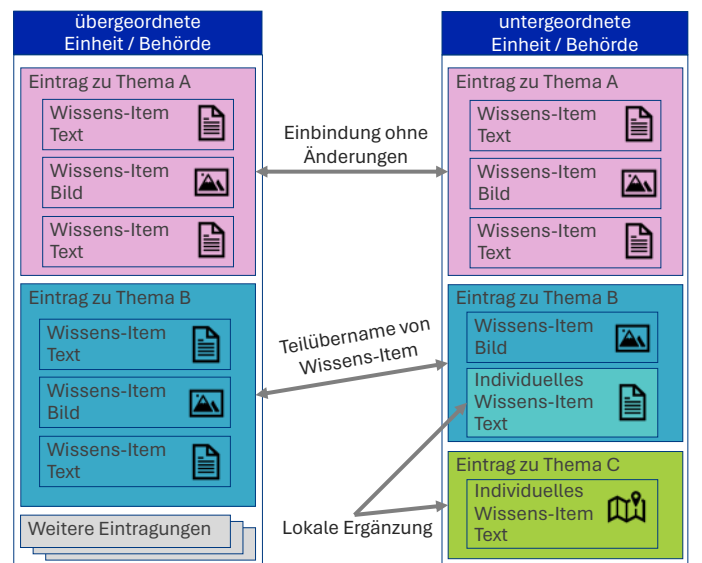
- Einsatzwissen und -vortplanung
- Übungs- und Ausbildungserfahrung
- Organisationsstrukturen

Organisatorischer Ablauf

- Jede Einheit kann ihr eigenes System betreiben, spätere Vernetzung bleibt möglich
- Aufbau von Basis-System, das allgemeingültige Informationen und Struktur bereitstellt
- Freigabeprozess für Änderungen und Einbindungen

Technische Umsetzung

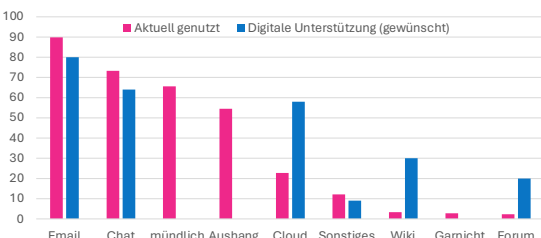
- Aufteilen von Artikeln in einzelne Elemente (Items) (z.B. Texte, Bilder, Dokumente, geografische Informationen) mit Metadaten
- Ein Eintrag wird dynamisch aus verschiedenen Quellen und Elementen zusammengesetzt, je nach Nutzerrechten
- Möglichkeit, ein System mit mehreren zu verknüpfen
- Einfache Rechtestruktur (z.B. Öffentlich, Mannschaft, Führungskräfte, Leitung)



### Rahmenbedingungen

Von der Information zum Wissen

- Digitales Informationsmanagement in Feuerwehren verbreitet
- Motivation zum Füllen und Unterhalten eines WMS fördern
- Strukturierter Wissensaustausch gewünscht



Nutzung vorhandener Ressourcen

- Viel Wissen ist einheitlich (Feuerwehr-Dienstvorschriften, Normen, Merkblätter)
- Allgemeines Wissen wird durch Lokales ergänzt
  - Struktur jeder Feuerwehr ist unterschiedlich
  - Eigene Regelungen (lokale Standard-Einsatz-Regeln und Dienstvorschriften)
  - Bauliche und technische Gegebenheiten
  - Verantwortungsträger und Ansprechpartner
  - Erfahrungs- und Gewohnheitswissen
- Mehrfache Erfassung eines Sachverhaltes vermeiden
- Software open-source bereitstellen zur einfachen Erweiterbarkeit und Wartung

[1] Andreas Schultz, Fabian Dotzki und Iryna Mozgova. „State of Knowledge Management among German firefighters“. In: Proceedings of the 21st ISCRAM Conference – Münster, Germany (2024). Hrsg. B. Penkert et al.

[2] Torben Sauerland et al. „Digitale Transformation in der zivilen Gefahrenabwehr“. In: Studie im Auftrag der vfdB. (2020).

[3] Julian Weidinger, Sebastian Schlauderer und Sven Overhage. „Information Technology to the Rescue? Explaining the Acceptance of Emergency Response Information Systems by Firefighters“. In: IEEE Transactions on Engineering Management (2021), S. 1–15.

## Dämmstoffe aus nawaRo bieten ein großes Potenzial für eine nachhaltige Bioökonomie

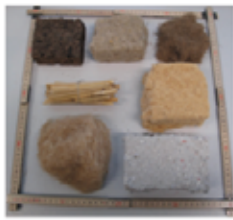


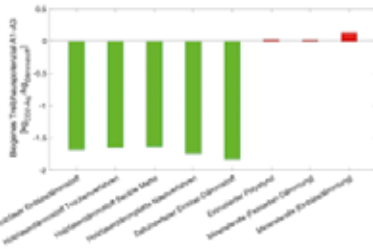
Abb. 1: Auswahl unterschiedlicher Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen



### ... sind vielseitig einsetzbar.

- Wand: Gefachdämmung, Trennwände, Innendämmung
- Decke: Gefachdämmung, Luft- und Trittschalldämmung, Dämmung für Bodenplatte und Geschosdecke
- Unterdeckung, Flachdach, Aufsparrendämmung, Zwischen- und Untersparrendämmung
- Fassade: Wärmedämmverbundsystem, Außenwand mit Vorhangsfassade

### ... stellen eine natürliche CO<sub>2</sub>-Senke dar.



1 kg Dämmstoff "speichert" etwa 1,5 kg CO<sub>2</sub>

Abb. 2: Biogenes Treibhauspotenzial unterschiedlicher Dämmstoffe je kg (Lebenszyklen A1-A3) aus [1]

## ... weisen eine Neigung zum kontinuierlichen Schwelen/Glimmen auf.

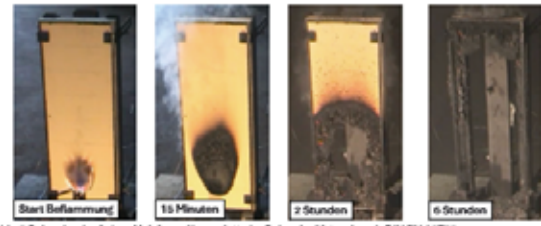


Abb. 3 Schwelverlauf einer Holzfaserdämmplatte im Schwelprüfstand nach DIN EN 16733

- Reaktionen an den Feststoffoberfläche, die sich mit deutlich geringerer Geschwindigkeit ausbreiten als ein Flammenbrand
- Geringer Bedarf an Sauerstoff, dadurch Ausbreitung im Innern von WDVS oder Gefachdämmung von Holztafelbauteilen möglich
- Geringe Temperaturen (ca. 400-700 °C), Vorgänge können längere Zeit unentdeckt bleiben

## ... unterliegen bauordnungsrechtlichen Beschränkungen.

GK 1a	GK 1b	GK 2	GK 3	GK 4	GK 5
Nichtbrennende Gebäude GfK > 7 m G 1.2 M	Nichtbrennende Gebäude Nicht-vertikal entzündliche Nutzung GfK > 7 m G 1.2 M	Nicht brennend GfK > 7 m G 1.2 M	Keinige Gebäude GfK > 7 m G 1.2 M	Keinige Gebäude GfK > 13 m G 1.2 M	Keinige Gebäude GfK > 13 m G 1.2 M

Abb. 4: Definition der Gebäudeklassen (GK) mit Regel-Anwendungsbereich der Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen

- M-HolzBauRL<sup>2</sup>: Dämmstoffe nichtbrennbar und Schmelzpunkt  $\geq 1000$  °C
- § 28(3) MBO<sup>3</sup>: Dämmstoffe in Wärmedämmverbundsystemen in den Gebäudeklassen 4 und 5 schwerentflammbar
- MVV-TB<sup>4</sup>: Keine Neigung zum kontinuierlichen Schwelen
- Ausnahme: HolzBauRL Baden-Württemberg für GK 4 mit zusätzlicher Bekleidung und Installationführung außerhalb

## 1. Entzündung vorbeugen und Ausbreitung begrenzen

- Erste thermische Zersetzungen treten ab ca. 200-250 °C auf
- Experimentelle Entzündungstemperaturen bei Kapselung für kurzzeitige Beanspruchung (< 15 Minuten) bei 300-400 °C
- Entzündungsschutz und Schwelbarrieren als wirksame Maßnahmen

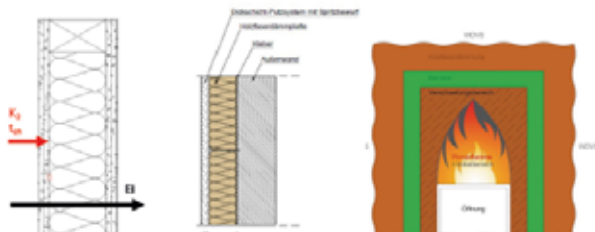


Abb. 5: Brandschutzbekleidung als Entzündungsschutz

Abb. 6: Schematische Darstellung von Dikschichtputzsystem und Schwelbarrieren (S)

- Viele Baustoffe weisen eine hohe Kohlenmonoxid-(CO)-Permeabilität auf
- Schwelbrände weisen durch die unvollständige Verbrennung eine höhere CO-Ausbeute auf als gut ventilierter Flammenbrände
- Die Abbrandrate ist bei Schwelprozessen geringer
- Bei Dämmstoffen sinkt die CO-Freisetzung bei sauerstoffreduzierter („vitiated“) Atmosphäre im Gefach ab
- Bei unterventilierten Raumbränden steigt die CO-Ausbeute z.B. von Kunststoffen gewöhnlich stark an
- CO-Thematik muss genauer untersucht werden, scheint jedoch kein dämmstoffspezifisches Problem zu sein

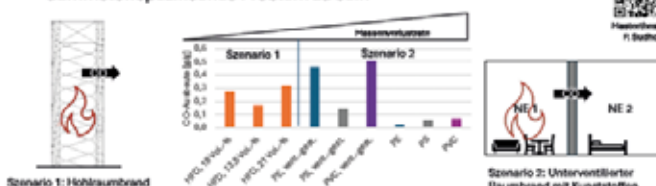


Abb. 7: CO-Ausbeute in g/g aus Cone-Kalorimeter-Schwelversuchen mit kontrollierter Gasatmosphäre, 15 kW/m<sup>2</sup> Wärmestromdichte, Daten für Kunststoffe aus [5]

## 2. Wirksame Löscharbeiten ermöglichen

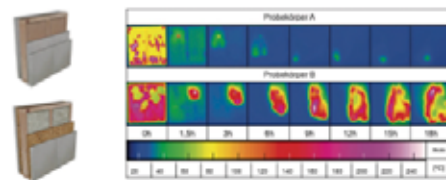


Abb. 8: Wärmebildaufnahmen der brandzugewandten Seiten 0-18 Stunden nach Oberflächenzündung [7]

- Zusätzliche Bekleidungslagen beeinflussen die Branddynamik durch Verlangsamung der Schwelgeschwindigkeit, gleichzeitig erhöhen sie die Schwierigkeit der Detektion mit Wärmebildkameras
- Eine Kombination mit z.B. einer CO-Analytik könnte die Lokalisierung vereinfachen

## 3. Schwelprozesse besser verstehen

### Projekt PyroProbID:

Das Modell ermöglicht erstmals Vorhersage des Schwelverhaltens auf Basis eines gekoppelten Reaktions-Transportmodells

- Besseres Verständnis für die physikalisch-chemischen Zusammenhänge
- Quantifizierung der Einflüsse von Temperatur und Sauerstoff auf Reaktionskinetik
- Potenzial zur Prognose von Entzündungswahrscheinlichkeiten und Ausbreitungsverhalten
- Kann als Grundlage für die Weiterentwicklung von Raumabschlussmodellen (z.B. Eurocode 5) dienen

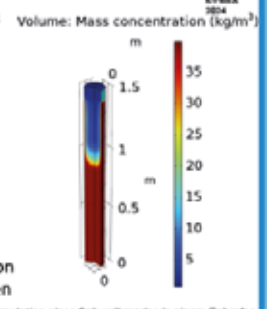


Abb. 9: Simulation eines Schwelbrandes in einem Rohrbohr

Quellen:  
 [1] ÖKOBAU-Datenbank, Informationsportal Nachhaltiges Bauen, <https://www.oko-bau.de>, abgerufen am 19.04.2024 (Generische/representative Datensätze nach DIN EN 15004-1:2)  
 [2] Muster-Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an Bauteile und Außenwandbekleidungen in Holzbauteile (M-HolzBauRL)  
 [3] Musterbauordnung (MBO) in der Fassung November 2002, zuletzt geändert durch Beschluss der Bauministerkonferenz vom 25.09.2020  
 [4] Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen (MVV TB) 2023/1 (352 Seiten), Ausgabe 2023/1; Amtliche Mitteilungen 2023/2 (Ausgabe: 17. April 2023 mit Druckfehlerberichtigung vom 10. Mai 2023)  
 [5] Küppers, J., 2020. Grundlagenuntersuchung zum Brandverhalten von WDVS mit nachwachsenden Rohstoffen. Dissertation, BHM/MPA Braunschweig, <https://doi.org/10.24355/dbbs.014-202012011223-0>  
 [6] Zehfuß, J. (Hrsg.): Leitfaden Ingenieurmethoden des Brandschutzes, vfb TB 04-01, 4., überarbeitete und ergänzte Auflage März 2020  
 [7] Lange, J. & Kampmeier, B.: Brandverhalten von Hohlraumkonstruktionen im modernen Holzbau. 23. Nachwuchswissenschaftler\*innenkonferenz, Juli 2023, Wernigerode

# Fuzzy-Bayessches-Netzwerk (FBN) zur Messung kommunaler Resilienz

Ing. Moritz Watermann, M.Sc. | Dr.-Ing. Frederik Schütte

## Relevanz und Fragestellung

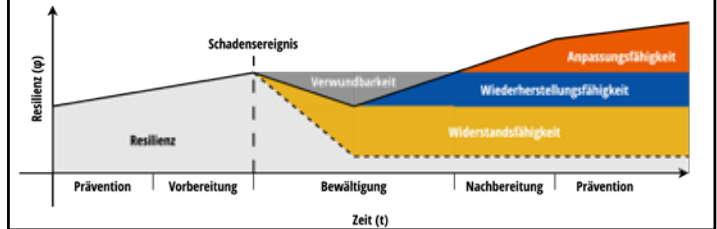
Städten und Gemeinden kommt eine tragende Rolle im Umgang mit Krisen und Schadensereignissen zu. Kommunen, die den Auswirkungen von Krisen und Schadensereignissen besonders gut widerstehen, ihre Funktionsfähigkeit schnell wiederherstellen und sich an die neuen Gegebenheiten anpassen, werden in der Literatur als *resilient* bezeichnet (Bautista-Puig et al. 2022). Trotz Unstimmigkeiten, welche Eigenschaften eine resiliente Stadt oder Gemeinde beschreiben, wurden seit den 2000er Jahren Verfahren zur Messung von kommunaler Resilienz entwickelt (Cutter 2016). Die bisherigen Verfahren zeigen Defizite, da sie jeweils nur qualitative oder quantitative Indikatoren berücksichtigen oder diese nicht gewichten. Der Einsatz eines Fuzzy-Bayesschen-Netzwerkes (FBN) für die Messung kommunaler Resilienz bietet daher den Vorteil, dass qualitative und quantitative Indikatoren berücksichtigt und gewichtet werden können.

### Forschungsfragen:

1. Mit welchen Indikatoren kann die Resilienz von Städten und Gemeinden in einem Fuzzy-Bayesschen-Netzwerk gemessen werden?
2. Wie lassen sich die Indikatoren für kommunale Resilienz mit den Resilienz-Komponenten in eine Netzwerk-Topologie als Framework der kommunalen Resilienz einordnen?
3. Wie lässt sich aus der Netzwerk-Topologie der Resilienz-Indikatoren und -Komponenten ein Fuzzy-Bayessches-Netzwerk für die Quantifizierung kommunaler Resilienz programmieren?
4. Welche Skalen und Schwellenwerte lassen sich für die Resilienz-Indikatoren heuristisch entwickeln beziehungsweise empirisch aus der Literatur ableiten?
5. Welche Indikatoren haben in dem entwickelten und evaluierten Fuzzy-Bayesschen-Netzwerk den größten Einfluss auf die kommunale Resilienz und wie verhält sich das Fuzzy-Bayessche-Netzwerk bei Veränderungen der Eingangsvariablen?

## Methoden

Grundlage für den Aufbau der Netzwerk-Topologie bildet das Verständnis von Resilienz (resilience capacity) als Quotient von Erholung (recovery capacity) geteilt durch Verlust (loss capacity) (Henry und Ramirez-Marquez 2012). Auf dieses System wirken die drei Resilienz-Komponenten Widerstandsfähigkeit, Wiederherstellungsfähigkeit und Anpassungsfähigkeit an unterschiedlichen Stellen ein (Hossain et al. 2019). Als zusätzliche Komponente wird Verwundbarkeit (vulnerability) in die Netzwerk-Topologie aufgenommen.

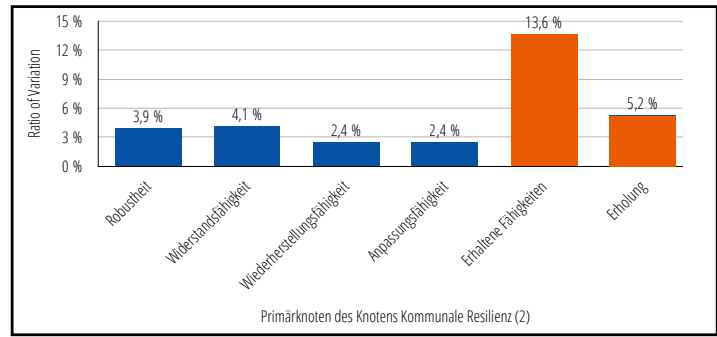
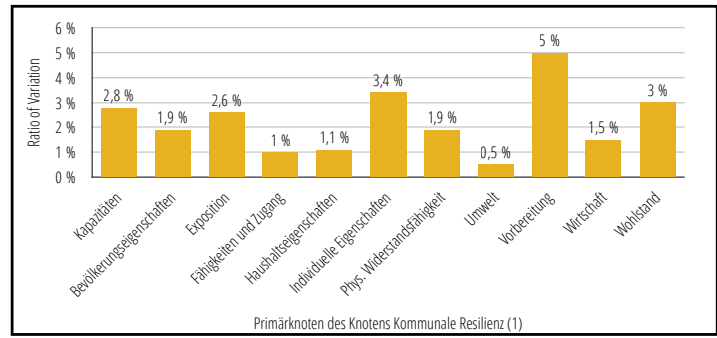
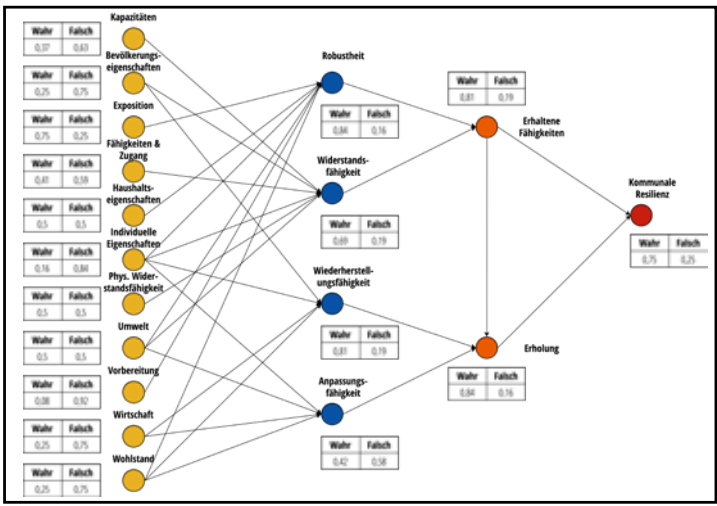


### Vorgehen bei der Entwicklung und Evaluation des FBN:



## Ergebnisse

Das Ergebnis einer Szenarienanalyse ist unten graphisch aufbereitet. Dabei wurden randomisierte Werte für die einzelnen Indikatoren festgelegt. Die im Rahmen der Sensitivitätsanalyse ermittelte Ratio of Variation (RoV) der einzelnen Primärknoten des Knotens *Kommunale Resilienz* ist rechts dargestellt. Es wird deutlich, dass die Knoten *Vorbereitung* und *Erhaltene Fähigkeiten* über den größten Einfluss auf die kommunale Resilienz verfügen.



## Diskussion und Fazit

Mit dem entwickelten FBN wird die Resilienz von Städten und Gemeinden anhand quantitativer und qualitativer Indikatoren gemessen. Um subjektive Einflüsse zu reduzieren, kann das aktuell noch expertengetriebene Verfahren zukünftig auf ein datengetriebenes Verfahren erweitert werden. Mit den Weiterentwicklungen des Fuzzy-Bayesschen-Netzwerkes ist es möglich, die Defizite von Städten und Gemeinden im Hinblick auf ihre Resilienz zu erkennen, Handlungsfelder zu identifizieren und Maßnahmen zu evaluieren.

## Literatur

Bautista-Puig, Nüría; Benayas, Javier; Mañana-Rodríguez, Jorge; Suárez, Marta; Sanz-Casado, Elias (2022): The role of urban resilience in research and its contribution to sustainability. In: *Cities* 126, S. 103715. DOI: 10.1016/j.cities.2022.103715.

Cutter, Susan L. (2016): The landscape of disaster resilience indicators in the USA. In: *Nat Hazards* 80 (2), S. 741–758. DOI: 10.1007/s11069-015-1993-2.

Henry, Devanandham; Ramirez-Marquez, Jose Emmanuel (2012): Generic metrics and quantitative approaches for system resilience as a function of time. In: *Reliability Engineering & System Safety* 99, S. 114–122. DOI: 10.1016/j.res.2011.09.002.

Hossain, Niamat Ullah Ibne; Nur, Farjana; Hosseini, Seyedmohsen; Jaradat, Raed; Marufuzzaman, Mohammad; Puryear, Stephen M. (2019): A Bayesian network based approach for modeling and assessing resilience: A case study of a full service deep water port. In: *Reliability Engineering & System Safety* 189, S. 378–396. DOI: 10.1016/j.res.2019.04.037.

# Funktionale Anforderungen für Treppenträume mit erhöhter Sicherheit

## Diskussionsvorschlag aus dem Projekt ALREKO

Robert Westphal<sup>1\*</sup>, Shaghayegh Ameri<sup>2</sup>, Prof. Ludger Dederich<sup>3</sup>, Prof. Dr.-Ing. Björn Kampmeier<sup>1</sup>, Prof. Dr.-Ing. Jochen Zehfuß<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Hochschule Magdeburg-Stendal, Fachbereich Wasser, Umwelt, Bau und Sicherheit, \*robert.westphal@h2.de

<sup>2</sup>Technische Universität Braunschweig, Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz

<sup>3</sup>Hochschule für Forstwirtschaft Rottenburg

### Ausgangslage – Situation in den Städten

- Akuter Wohnraumbedarf
- Hochverdichtete Quartiere
- Nachverdichtung durch
  - Schließung von Baulücken
  - Bebauung rückwertiger Grundstücke
  - Dachaufstockungen
- In Kombination mit
  - neuen Mobilitätskonzepten
  - Stadtbegrünung
  - ökologischen Bauweisen



Abb. 1: Nachverdichtung durch Dachgeschossausbau

### Problemstellung – Rettungswege im mehrgeschossigen Wohnungsbau

- Prinzip der zwei unabhängigen Rettungswege
  - notw. Treppe + notw. Treppe
  - notw. Treppe + Rettungsgerät
  - Sicherheitstreppenraum
- Feuerwehr konkurriert mit Trends der Stadtentwicklung
- Sicherheitstreppenraum unterhalb Hochhausgrenze oft nicht möglich bzw. unwirtschaftlich
  - Anforderungen an Grundriss
  - Anlagentechnik



Abb. 2: Stadtbegrünung verdeckt die für die Feuerwehr erreichbare Stelle

### Lösungsansatz – Projekt ALREKO

Entwicklung eines „alternativen Rettungswegkonzeptes“ für Gebäude und Aufstockungen in den GK 4 und 5

**Ziel:** Ertüchtigung des einzigen Treppenraums entsprechend des geforderten Sicherheitsniveaus für Wohngebäude GK 4 und 5 bis zur Hochhausgrenze

**Zentrale Fragestellung:** Sicherheitsniveau des bisherigen Rettungswegsystems

**Lösungsansatz:** Quantitative Risikoanalyse

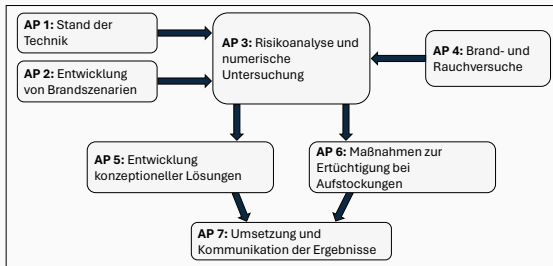


Abb. 3: Zusammenwirken der Arbeitspakete im Projekt ALREKO

### Menschenrettung durch die Feuerwehr

*Die Feuerwehr rettet ...*

- Eigenrettung bei ca. 40% der Brandereignisse in AGBF-Statistik beim Eintreffen der Feuerwehr nicht abgeschlossen [1]

*... größtenteils über die baulichen Rettungswege. [1, 2, 3]*

- Sicherung des Treppenraums als Angriffs- und Rettungsweg
- Begrenzung der Rauchausbreitung mit mobilem Rauchverschluss und mobiler Überdruckbelüftung
- Bei gesichertem Treppenraum ist Rettungsrate nicht durch Feuerwehr begrenzt



Abb. 4: mobiler Rauchverschluss und Belüftungsgerät

### Treppenträume mit erhöhter Sicherheit

Erfüllen nicht die an Sicherheitstreppenräume gestellten Anforderungen (MBO § 33: „[...] in den Feuer und Rauch nicht eindringen können.“), sind jedoch ausreichend sicher.

Wenn die Selbstrettung, Fremdrettung und Brandbekämpfung über den einzigen notwendigen Treppenraum erfolgen muss ist es erforderlich, dass:

- dieser für die Dauer der Selbstrettung ausreichend lang benutzbar ist
- ein Verbleib in der Wohnung bis zur Fremdrettung möglich
- dieser für die Dauer der Fremdrettung ausreichend lang benutzbar ist
- dieser für die Dauer der Brandbekämpfung ausreichend lang benutzbar ist
- die Brandausbreitung über den Treppenraum begrenzt ist

Tab. 1: Verknüpfung der funktionalen Anforderungen mit Leistungskriterien für den Nachweis der Rettungswegkonfigurationen mittels Ingenieurmethoden

Funktionale Anforderung	Leistungskriterium
Treppenraum für Dauer der Selbstrettung benutzbar	Optische Dichte Gastemperatur
Verbleib in Nutzungseinheit bis Fremdrettung möglich	Optische Dichte Gastemperatur
Treppenraum für die Dauer der Fremdrettung benutzbar	Optische Dichte Wärmestromdichte Gastemperatur
Brandausbreitung über Treppenraum begrenzt	Wärmestromdichte auf brennbare Objekte

### Literatur

- [1] Maiworm, Göldner, Engel (2022) Einsatzstellenbewertungen der deutschen Feuerwehren – Brandversuche in situ, Bautechnik  
 [2] Meyn, Kießling, Göwecke (2016) Erster und zweiter Rettungsweg in Wohngebäuden, Bautechnik  
 [3] Herbst (2019) Bewertung des Einsatzes der Drehleiter als zweiter Rettungsweg am Beispiel von Hamburg, Studienarbeit TU Braunschweig