

DETLEF MAMROT

## Ein neues kybernetisches Modell zur Simulation von Bränden in Bauwerken

### 1 Problemstellung

Der Brand stellt eine der größten Gefahren bei der Nutzung von Bauwerken dar. Der Gesetzgeber genügt seiner besonderen Fürsorgepflicht im Hinblick auf die Gewährleistung eines ausreichenden Personenschutzes insbesondere durch die Festlegung von bauaufsichtlichen Anforderungen im Rahmen der Genehmigungsverfahren.

Die diesen Anforderungen zugrunde liegenden Regelungen fußen traditionell stark auf den empirischen Erkenntnissen aus stattgefundenen Brandereignissen, von denen der Bauwerksplaner natürlich auch außerhalb der bloßen Anwendung der Gesetzestexte profitiert.

Moderne architektonische Anforderungen an transparente, leichte und großräumige Bauweisen bedingen jedoch häufig objektorientierte Risikostudien, die ein Abweichen von den bauaufsichtlichen Regelwerken ermöglichen. Diese Risikoabschätzungen bedürfen verstärkt einer geistigen Vorwegnahme denkbarer Brandverläufe und einer vorausschauenden Abschätzung potenziell auftretender Ereignisse.

Zur Unterstützung prognostizierender Betrachtungen wurden in den vergangenen Jahren Computerprogramme entwickelt und vermehrt eingesetzt. Sie sind in der Lage, die Interaktion Feuer-Bauwerk (Brandsimulation) und zum anderen das Ausströmverhalten von Personen aus Bauwerken (Evakuierungssimulation) abzubilden.

Ihr Nutzen liegt bei der Brandsimulation vor allem in der Ermittlung von Beanspruchungsgrößen für die Bauwerksplanung, wie Temperaturen, Rauchgasdichten, Rauchgasmassen oder auf der Seite der Evakuierungsberechnungen Evakuierungszeiten oder Staulängen.

Für die Ermittlung von Beanspruchungen ist es erforderlich, dass die zugrunde liegenden Modelle detailgenau aufgebaut werden, denn ihre Verifizierung wird vorwiegend durch Vergleich mit empirisch ermittelten Versuchsdaten erreicht.

Neben diesem Einsatz als numerische Bemessungshilfe, beeinflussen Brandsimulationen beim Anwender jedoch auch im Planungsprozess die Qualität seiner prognostizierenden Betrachtungen hinsichtlich der Art und Anzahl zu erwartender Ereignisse innerhalb von Brandverläufen.

Während die Modelle zur Ermittlung von Bemessungsgrößen für die Bauwerksplanung gut geeignet sind, liefern Sie im Hinblick auf die Abschätzung der Vielfalt potenzieller Ereignisse während eines Brandes jedoch nur unzureichende Ergebnisse.

Der Physiker H.-P. Dürr [1] nennt Gründe für das Problem. Er erklärt:

*»(...), daß Exaktheit und Relevanz in einem gewissen Sinne unverträglich seien. (...) Wenn ich auf Exaktheit*

*schaue, dann muß ich versuchen, gewisse Teile aus dem Gesamten herauszulösen, denn nur das Isolierte kann ich exakt erfassen.«*

Weiter heißt es:

*»Das Isolierte habe ich sozusagen im Griff und kann es dann auch sehr exakt beschreiben. Relevanz aber hat mit der Einbettung des Teiles im Ganzen zu tun, also mit der Verbindung zur Umgebung. Wenn ich relevant sein will, muß ich auf lokale Exaktheit verzichten. (...) Da ist es sogar schädlich, wenn ich mich auf ein Detail konzentriere.«*

Ziel einer Forschungsarbeit [2] war es deshalb, ein Modell zur Beschreibung des Verlaufs von Bränden in Bauwerken aufzustellen, das in der Lage ist, alle relevanten Teilbereiche »Feuer, Bauwerk, Bauwerksnutzer und Feuerwehr« einzubeziehen und auf dieser Grundlage ein vollständigeres Bild von der Vielfalt potenzieller Ereignisse während eines Brandes zu liefern, als dies die beschriebenen Modelle tun.

### 2 Komplexität

Die angesprochene Vielfalt potenzieller Ereignisse (Varietät) wird in älteren Definitionen als Kennzeichen für den Grad der »Komplexität« eines Systems dargestellt. Ein besonderes Merkmal komplexer Systeme ist daneben jedoch das Auftreten von scheinbar nicht vorhersehbaren Ereignissen.

Dies legte zu Beginn der Untersuchung die Vermutung nahe, dass auch die Besonderheiten des Verlaufs von Bränden in Bauwerken auf die Eigenschaft der Komplexität zurückzuführen sind und mittels neuer wissenschaftlicher Methoden aus dem Bereich der Erforschung komplexer Systeme untersucht werden können.

Indizien für die aus der Komplexität resultierende besondere Problematik ergaben sich aus Literaturstellen wie den folgenden:

Dombrowsky zur Quantifizierbarkeit von Brandverläufen [3]:

*»Weder lassen sich alle beteiligten Einflußgrößen (auf das Verhalten von Menschen bei Bränden [D.M.]) identifizieren, noch alle tatsächlichen Wirkungen quantifizieren. (...) Oftmals erst ergeben sich Brände aus diesen hinterrücks ablaufenden Kollisionen der geplanten und gewollten Effekte mit den ungeplanten und ungewollten Nebeneffekten.«*

Zur Notwendigkeit einer allgemeinen Theorie des Katastrophalen heißt es an anderer Stelle [4]:

*»Das Problem besteht vielmehr darin, daß jede neue Katastrophe deswegen als solche erscheint, weil Abläufe und Effekte auftreten, die angeblich niemand vorhersehen konnte und die deswegen so radikal überraschen. Tatsächlich aber sind Abläufe und Effekte nur dann nicht absehbar, wenn eine allgemeine Theorie des Katastrophalen fehlt und die Einzelphänomene ganz zwangsläufig monolithisch im Raum stehen. Worum es zu gehen hätte, wäre aber, nicht immer neuen Einzelphänomenen hinterherzueilen, sondern*

nach den Strukturbedingungen zu suchen, aus denen sie sich hinreichend genau deduzieren lassen.«

Alan Beard [5] äußert sich sinngemäß wie folgt:

»Es ist unrealistisch anzunehmen, daß es ein deterministisches Wissen über zukünftige Ereignisse in Bezug auf Feuer-Risiken gibt.«

In einem Diskussionsbeitrag von R. Frei (vgl. [6], S. 117) bemerkt dieser zu den Möglichkeiten bisheriger Risikoanalysen:

»Aus meiner Praxis: Einer der letzten größeren Chemieunfälle in Basel. Wenn wir den vorher berechnet hätten, wären wir auch auf so kleine Wahrscheinlichkeiten gekommen, da hätten wir gesagt, das kann nie passieren. Die Realität war aber, daß nicht weniger als 7 voneinander unabhängige Ereignisse gleichzeitig eingetreten sind. Sie hätten vorher Risikoanalysen machen können, (...) wir hätten dieses Ereignis, das nun tatsächlich stattgefunden hat, nie herausgefunden.«

Der Mathematiker H.-J. Lüthi fordert für Risikosysteme den verstärkten »Einbezug der Fantasie zur Ermittlung eigentlicher Schadenszenarien« (vgl. [6], S. 121). Weiterhin sei das »Denken ans Undenkbare«

»(...) ein außerhalb des Formalen ablaufender Prozeß, wozu wir weniger analytische, sondern kreativitätserweiternde Techniken benötigen.«

**3 Angewandte Methodik und Untersuchungsergebnisse**

**3.1 METHODE**

Ein Verfahren, das auf die Untersuchung komplexer Systeme ausgelegt ist und neben den physikalisch-materiellen Zusammenhängen das menschliche Verhalten

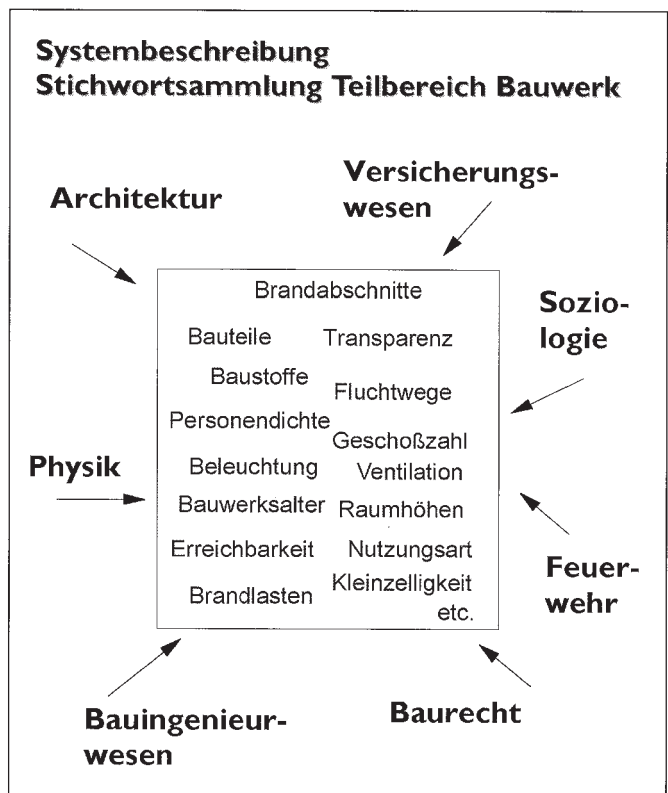


BILD 2 Zusammenführung der Sichtweisen

berücksichtigen kann, ist das »Sensitivitätsmodell« von Professor Vester [7], das als Untersuchungsinstrumentarium in [2] verwendet wurde.

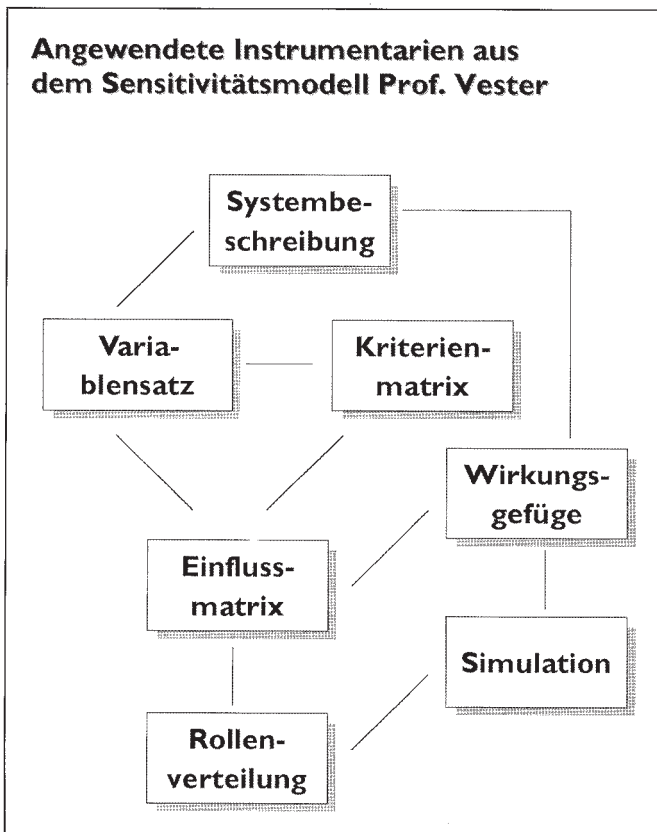


BILD 1 Teile des Sensitivitätsmodells nach Professor Vester

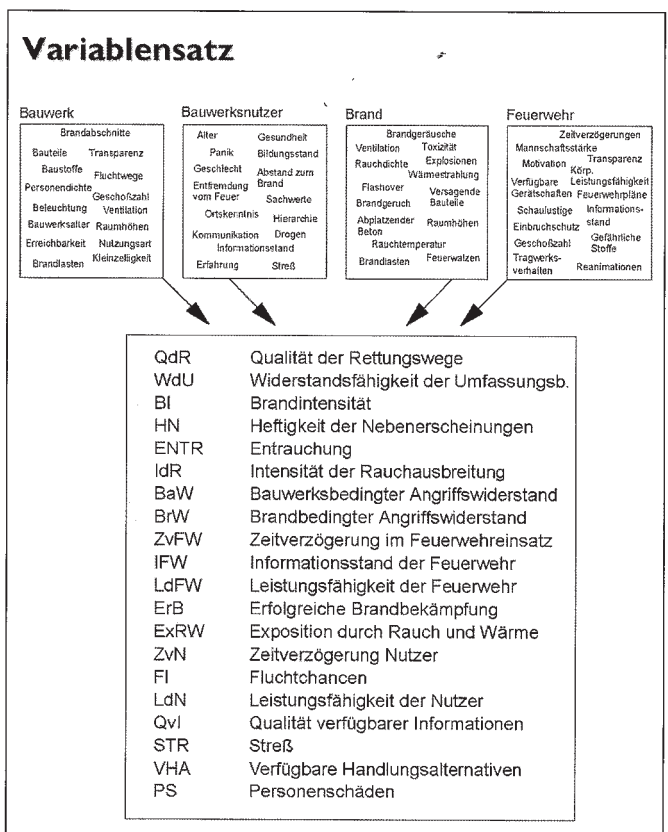


BILD 3 Ableiten des systemrelevanten Variablensatzes

Die Entwicklung des Verfahrens wurde 1975 von der UNESCO beauftragt. Grund war die Unzufriedenheit mit herkömmlichen Planungsmethoden beispielsweise im Bereich der Regionalplanung oder der Entwicklungshilfe.

Für die hier vorgestellte Arbeit wurden die in Bild 1 gezeigten Verfahrensteile angewendet.

### 3.2 ERSTE ABGRENZUNG

Die erste Abgrenzung des Systems erfolgte im Rahmen einer Arbeitssitzung mit Experten unterschiedlicher fachlicher Ausrichtung. Ergebnis war eine Sammlung von Begriffen und Zusammenhängen, die in der Folgezeit aggregiert, aufgespalten und kategorisiert wurden (Bild 2).

### 3.3 VARIABLENSATZ

Aus den so bearbeiteten Begriffen wurde der Variablensatz entwickelt (Bild 3). Er spiegelt damit die im Teil Systembeschreibung gefundene Expertenmeinung wieder. Die Variablenbeschreibung erfolgte anhand von Variablenamen, Definitionen und der Angabe von Indikatoren und externen Einflussgrößen (beispielhaft in Bild 4).

### 3.4 SYSTEMRELEVANZ DER VARIABLEN

Die Variablen wurden anhand vorgegebener Kriterien auf ihre Systemrelevanz und auf Vollständigkeit hin überprüft. Dazu wurde der Variablen ein voller Punkt zugesprochen, wenn das Kriterium vollständig erfüllt war

(Bild 5). Ein halber Punkt wurde für eine teilweise Erfüllung vergeben.

Es konnte gezeigt werden, dass der Variablensatz alle Teilbereiche ausreichend und gleichmäßig umfasst und damit prinzipiell zur Abbildung des Systems geeignet ist.

### 3.5 ERSTE ANALYSE DER SYSTEMINHÄRENTEN KOMPLEXITÄT

In der Einflussmatrix (Bild 6) spiegelt sich die Komplexität des untersuchten Systems wieder. Alle potenziellen Wirkungen der Variablen aufeinander werden numerisch erfasst, indem von drei unterschiedlichen Bearbeitern die Matrix ausgefüllt und anschließend die hier dargestellte Konsenzmatrix gebildet wurde. Die Vergabe einer 0 bedeutet dabei, es gibt keine direkte Wirkung von A auf B, die 1 bedeutet eine geringe Wirkungsstärke, die 2 eine mittlere und die 3 eine starke Wirkung. Ergebnis ist eine Aussage über die spezifische Wirkungsstärke und Beeinflussbarkeit jeder Variable im System.

Das zwangsweise Abfragen jeder potenziellen Beziehung zweier Variablen zueinander führt auf Interaktionen, die ohne eine derartige Methodik nicht integriert worden wären. Eine numerische Auswertung der Einflussmatrix ergibt die Stärke der Wirkung dieser Variable auf das System (Aktivsumme), beziehungsweise die Stärke der Wirkung des Systems auf die Variable (Passivsumme).

## Variablendefinition

### Qualität der Rettungswege

DEFINITION

Fluchtweg = Rettungsweg, ohne Berücksichtigung der bauaufsichtlichen Definition.

Bestandteile der Flucht- und Rettungswege sind deshalb: Fenster, Balkone, Aufzüge, Flure, Treppenträume, etc. Die Qualität wird u.a. gewährleistet durch die Qualität und das Vorhandensein von brandschutztechnisch relevanten Bauteilen, Funktionssicherung (Türen), Kapazität, etc.. Beeinträchtigungen erfolgen beispielweise durch nutzungsbedingte Verengungen und Brandlastansammlungen.

INDIKATOREN

- Länge, Abmessungen, Einengungen
- Bauteilqualitäten
- Rauchschtottung
- Beleuchtung
- Eindeutigkeit und Zuverlässigkeit der Wegeführung
- Brandlasten

EXTERNE GRÖSSEN

- Funktionalität des Betriebsablaufs
- Nachträgliche Wandverkleidungen
- Einbruchschutz
- Bauwerksalter

BILD 4 Beispiel für eine Variablendefinition

## Kriterienmatrix

FLUSSGRÖSSE

ENERGIE

MATERIE

STRUKTURGRÖSSE

ZEITLICHE DYNAMIK

RÄUML. DYNAMIK

EINFLUSS INNEN

EINFL. AUSSEN

OUTPUT

INPUT

QdR

WdU

BI

HN

ENTR

IdR

BaW

BrW

ZvFW

IFW

LdFW

ErB

ExRW

ZvN

FI

LdN

QvI

STR

VHA

PS

1 PUNKT = KRITERIUM VOLLST. ERFÜLLT

1/2 PUNKT = KRITERIUM TEILWEISE ERFÜLLT

11,0

12,0

11,0

11,0

BILD 5 Feststellen der Systemrelevanz der Variablen



# Einflussmatrix

	QdR	WdU	BI	HN	ENTR	IdR	BaW	BrW	ZvFW	IfvFW	LdFW	ErB	ExRW	ZvN	Fi	LdN	QvI	STR	VHA	PS
QdR	x	0	2	1	2	3	2	3	0	1	0	0	0	2	2	0	2	0	2	2
WdU	3	x	2	2	3	3	1	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2
BI	0	3	x	3	2	3	0	3	0	2	2	3	2	0	0	1	2	3	2	0
HN	2	0	1	x	0	0	0	1	1	2	1	0	1	0	0	0	2	3	0	1
ENTR	0	0	0	0	x	3	0	2	0	0	0	0	2	1	0	0	1	2	0	0
IdR	3	2	3	1	1	x	0	2	2	0	0	0	3	2	0	0	3	1	2	0
BaW	2	1	0	0	0	0	x	0	2	2	1	2	2	3	1	2	0	2	1	
BrW	0	0	0	0	0	0	0	x	2	2	3	2	0	0	0	0	0	0	0	
ZvFW	0	0	3	0	0	2	0	3	x	2	0	0	1	0	0	0	0	2	0	
IfvFW	2	0	0	0	1	0	2	2	3	x	2	3	1	1	0	0	2	0	0	
LdFW	3	1	0	1	3	0	1	2	3	2	x	3	1	0	0	0	0	0	0	
ErB	0	0	3	1	0	0	0	2	1	1	2	x	3	2	1	0	1	3	1	
ExRW	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	x	2	0	3	3	2	3	
ZvN	2	0	2	0	0	2	0	0	3	0	0	0	2	x	0	2	0	0	0	
Fi	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	2	2	0	x	0	0	0	3	
LdN	0	1	0	0	2	0	0	2	2	2	3	2	2	3	x	3	2	3	2	
QvI	3	0	0	0	2	0	0	2	0	1	0	2	2	2	2	x	3	2	0	
STR	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	3	3	x	0	1	
VHA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	3	0	0	1	3	x	0	
PS	2	0	0	0	0	0	0	2	0	2	0	0	0	0	3	0	3	0	x	

BILD 6 Numerische Bewertung der Variablen

### 3.6 SYSTEMTHEORETISCHE CHARAKTERISIERUNG DER VARIABLEN

Die numerischen Ergebnisse der Einflussmatrix (Zeilen- und Spaltensummen) konnten in der Rollenverteilung (Bild 7) ausgewertet und hinsichtlich der sich daraus ergebenden kybernetischen Eigenschaften einzelner Variablen, des Teil- oder Gesamtsystems untersucht werden.

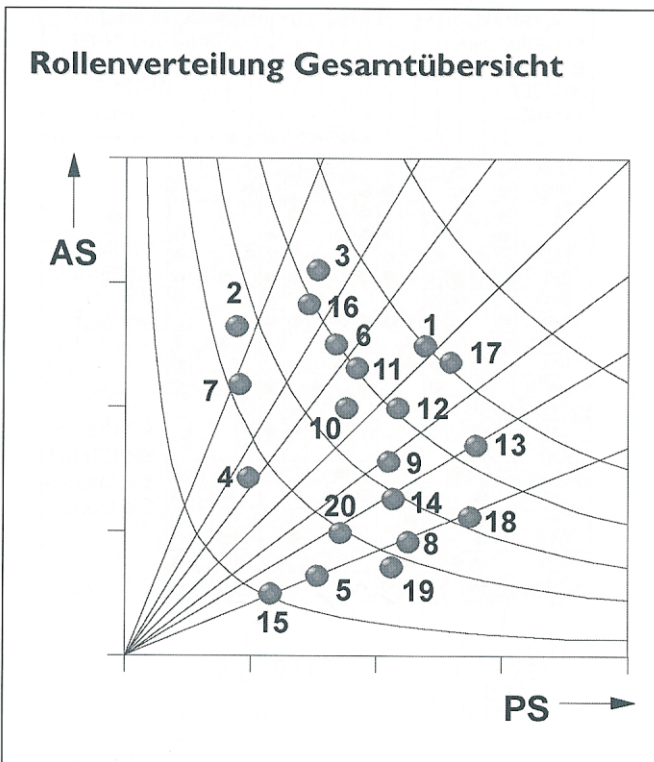


BILD 7 Analyse der kybernetischen Charakteristika

Aktive Steuergrößen, die leicht von außerhalb des Systems beeinflusst werden können sind demnach

- Widerstandsfähigkeit der Umfassungsbauteile (Punkt 2 in Bild 7),
- Brandintensität (Punkt 3),
- Intensität der Rauchausbreitung (Punkt 6),
- Bauwerksbedingter Angriffswiderstand (Punkt 7),
- Leistungsfähigkeit der Nutzer (Punkt 16).

In 2, 3 und 6 finden sich richtigerweise als Steuergrößen die Haupteinflussgrößen des baulichen Brandschutzes.

Der unter Variable 7 angesprochene »Bauwerksbedingte Angriffswiderstand« wird durch die Einbeziehung der Feuerwehrelange in die Bauwerksplanung ebenfalls als Steuergröße berücksichtigt.

Leider zu wenig genutzt wird die zur Steuerung ebenfalls geeignete Variable 16 »Leistungsfähigkeit der Nutzer«. Wie wichtig sie ist, stellte sich im Rahmen der weiteren Untersuchung im unten dargestellten Wirkungsgefüge heraus.

Den in das Brandgeschehen involvierten Personen (Variablennummern > 11) werden insgesamt wenig Steuerungsmöglichkeiten zugesprochen. Man erkennt dies an der vorwiegend reaktiven Lage (unten rechts) der Variablen aus dem Teilbereich »Bauwerksnutzer«.

Kritische Variablen, also solche, die risikomindernde oder risikosteigernde Wirkungen in Regelkreisen in Gang setzen können, sind insbesondere die

- Qualität der Rettungswege (Punkt 1 in Bild 7) und die
- Qualität verfügbarer Informationen (Punkt 17).

Eine Verbesserung der Qualität verfügbarer Informationen im Brandverlauf und die daraus folgende Einleitung risikomindernder Rückkopplungen ergibt sich häufig durch den Bauwerksnutzer selbst, der seine Informationslage zu verbessern sucht. Technische Systeme, die in Abhängigkeit vom Brandgeschehen gezielt Informationen anbieten sollen, können damit von außerordentlich großem Nutzen sein.

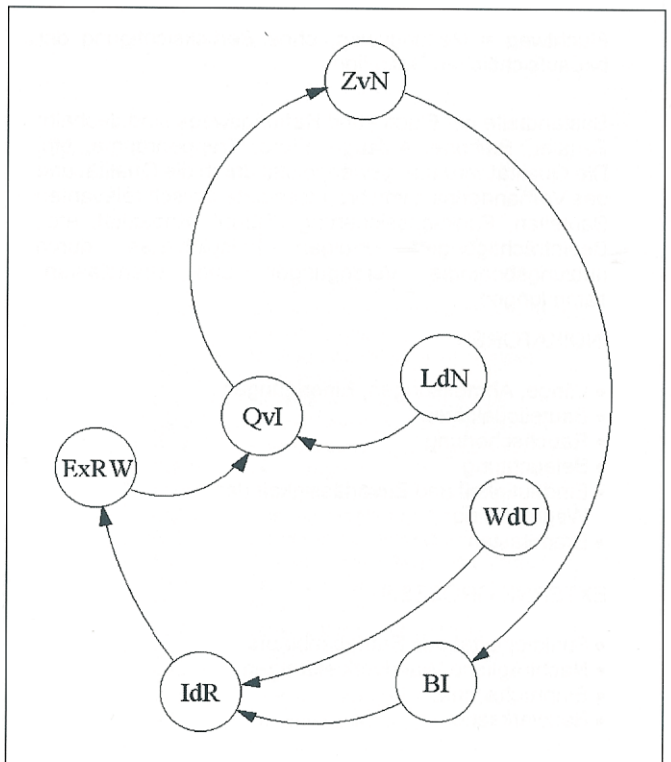


BILD 8 Wirkungsgefüge für die Brandphase I

### 3.7 WEITERGEHENDE STRUKTURANALYSE

Um die Frage zu beantworten, wie eine Variable das Gesamtsystem beeinflusst, wenn sie in Regelkreise eingebaut wird, benötigt man ein weiteres Instrument der Systemanalyse, das Wirkungsgefüge. In Wirkungsgefügen werden – unabhängig von der Einflussmatrix – vorhandene Beziehungen zwischen den Variablen dargestellt und in ihrer Wirkungsrichtung festgelegt.

Dies erfolgte im Rahmen der Untersuchung getrennt für fünf unterschiedliche Brandverlaufphasen, von denen exemplarisch zwei in den Bildern 8 und 9 dargestellt wurden.

Phase 1: Brandentdeckung (Bild 8).

Phase 2: Erkennen der Gefahr bis zum Einsetzen erster wirksamer Handlungen.

Phase 3: Lösch- und Entrauchungsversuche.

Phase 4: Aufgabe der Löschversuche und Hinwendung zur Flucht (Bild 9).

Phase 5: Flucht- und Feuerwehreinsatz.

Jede Beziehung wird als gleich- oder gegenläufig gekennzeichnet. Entsprechend ergeben sich positive und negative Regelkreise. Anhand der Zunahme der Wirkungsbeziehungen für unterschiedliche Brandverlaufphasen lässt sich erkennen, wie die Komplexität des Systems sich entwickelt.

Aus den so gewonnenen Wirkungsgefügen kann die Anzahl positiver und negativer Rückkopplungen als Maß für die Stabilität des Systems gewonnen werden.

Ein Beispiel für detailliertere Aussagemöglichkeiten:

Wenn die Beziehung der Variable »Stress« auf die Variable »Leistungsfähigkeit der Nutzer« von einer positiven Beziehung in eine negative Beziehung umschlägt, sinkt die Anzahl der positiven Regelkreise erheblich zugunsten der negativen Regelkreise. Dies bedeutet, dass solange der Stress zu einer Aktivierung von Kräften führt (Eustress), dämpfende Rückkopplungen wirksam sind, die erst beim Umschlagen in übermäßigen Stress (Distress) zu kritischen, weil sich aufschaukelnden Wirkungen führen.

Die unterschiedlichen Pfade der Ereignisfolgen je nach Stresszustand der Bauwerksnutzer sind bei Analyse der

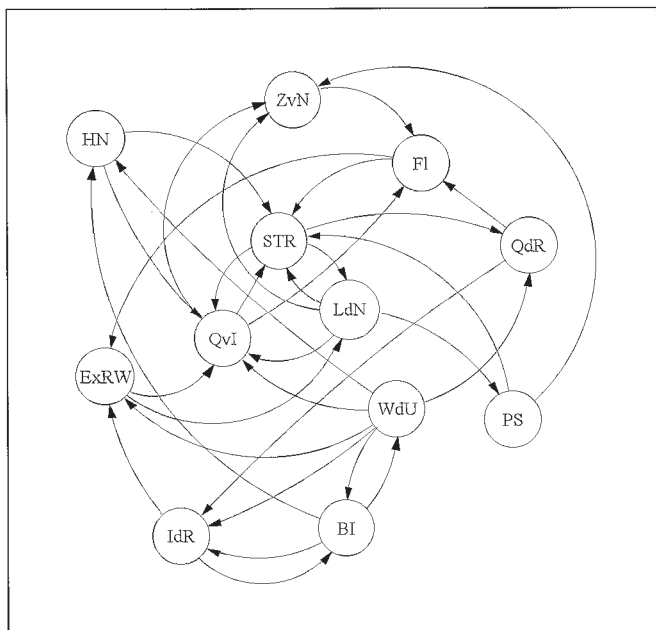


BILD 9 Wirkungsgefüge für die Brandphase IV

Wirkungsgefüge erkennbar und geben Aufschluss und Ansätze für mögliche Eingriffsmöglichkeiten zur Senkung des Stressniveaus.

Die Trennung der Wirkungsgefüge in fünf unterschiedliche Phasen wurde aufgrund der starken Veränderlichkeit der Struktur während des Brandverlaufs erforderlich. Die zeitliche Komponente wird im letzten der angewendeten Modellwerkzeuge, der Simulation, einbezogen.

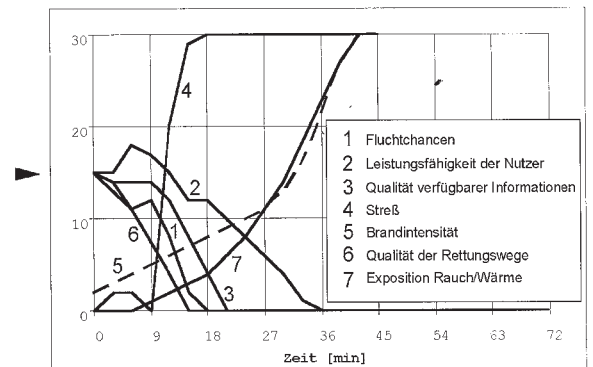
### 3.8 SIMULATION

Nachdem aus den vorhergegangenen Untersuchungsschritten vielfältige Einsichten in die Systemstruktur und in die besondere Charakteristik der verwendeten Variablen gewonnen werden konnten und sich daraus ihre Relevanz für spezielle Fragestellungen ergab (Sensitivität), konnte unter Beachtung dieser Ergebnisse das Simulationsmodell aufgebaut werden.

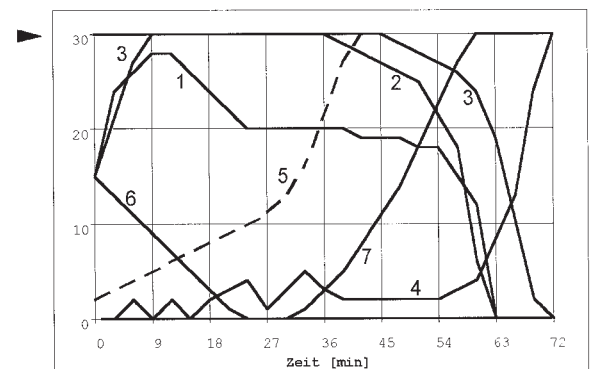
Bild 10 zeigt die Wirkung unterschiedlicher Eingangswerte der Leistungsfähigkeit der Bauwerksnutzer im Brandfall auf die zeitliche Entwicklung anderer Parameter bei gleicher Entwicklung der Brandintensität.

Bild 11 ermöglicht eine Bewertung des Einflusses unterschiedlicher Leistungsfähigkeit der Nutzer von Bauwerken (LdN) auf die resultierenden verfügbaren Fluchtzeiten bei unterschiedlichen Anfangswerten der Variablen »Qualität der Rettungswege« sowie »Qualität verfügbarer Informationen«.

#### Abhängigkeit der Fluchtchancen von der Leistungsfähigkeit der Nutzer



Eingeschränkte Leistungsfähigkeit



Sehr gute Leistungsfähigkeit

BILD 10 Zeitliche Veränderlichkeit von Variablen bei unterschiedlichen Eingangsbedingungen



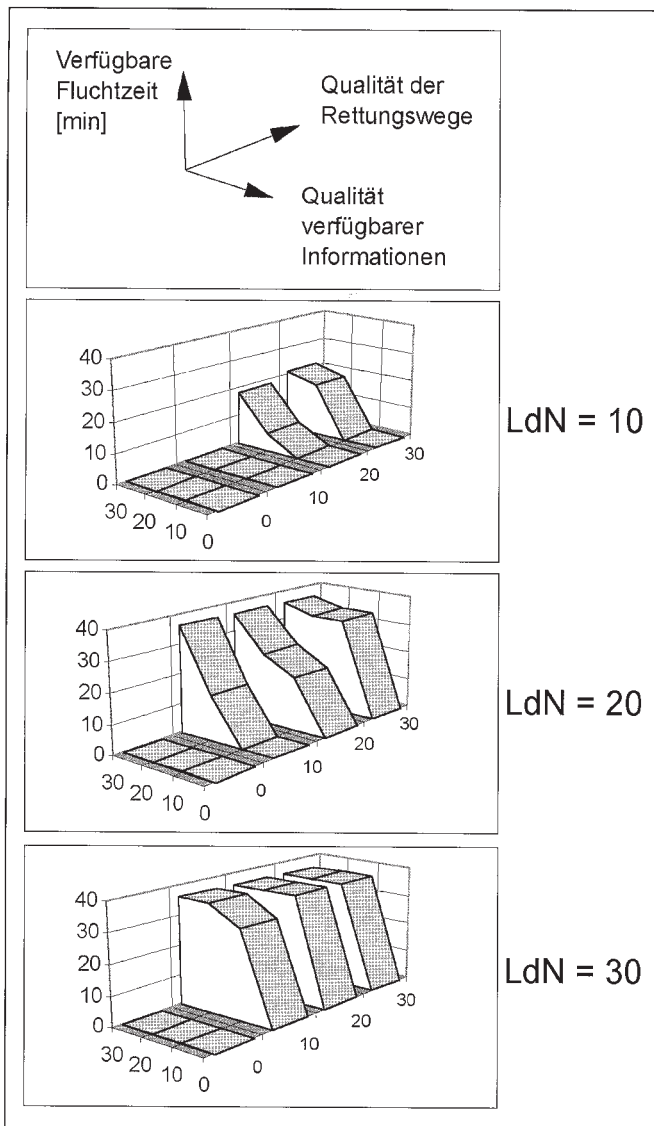


BILD 11 Mehrdimensionale Darstellung von Simulationsergebnissen

#### 4 Zusammenfassung

Bei der Planung von Bauwerken und bei der Festlegung von Anforderungen durch den Gesetzgeber findet im Rahmen der brandschutztechnischen Risikoabschätzung häufig ein Abwägen unterschiedlicher risikomindernder Maßnahmen statt. Immer wieder taucht dabei die

Frage auf, ob einzelne Maßnahmen andere kompensieren können. Die Entscheidung darüber hängt vorwiegend von der Vorstellungskraft bezüglich denkbarer Brandszenarien der diese Fragestellung beurteilenden Personen ab. Empirische Kenntnisse über stattgefundene Brandverläufe, ein gutes wissenschaftliches Grundlagenwissen und die Verfügbarkeit numerisch exakter Simulationsmodelle waren bisher dazu die wesentlichen verfügbaren Denkhilfen. Das vorgestellte und für die brandschutztechnische Risikoabschätzung adaptierte Verfahren stellt für den Brandschutz eine ergänzende Methode dar.

Der praktikable Einsatz der Methode bietet sich weniger in konkreten Bauplanungen als vielmehr im Rahmen von Grundsatzentscheidungen über die Gewichtung unterschiedlicher Maßnahmen des baulichen, anlagentechnischen und organisatorischen Brandschutzes an, also beispielsweise bei Überlegungen im Rahmen von Anpassungen bauaufsichtlicher oder technischer Regelwerke.

Mit gutem Erfolg und viel Freude am gemeinsamen Lernen konnten Teile der Methode auch im Rahmen der Aus- und Weiterbildung von Studenten angewendet werden.

Wichtig wäre es für die Zukunft, das Modell durch breitere Anwendung weiter zu verfeinern und an die Realität anzupassen, denn das Verfahren ist wie kaum ein anderes dazu geeignet, damit entwickelte Modelle durch fortgesetzte Nutzung an die sich verändernde reale Umwelt anzupassen, denn nicht ohne Absicht ist die Grundlage die Biokybernetik.

#### 5 Literaturverzeichnis

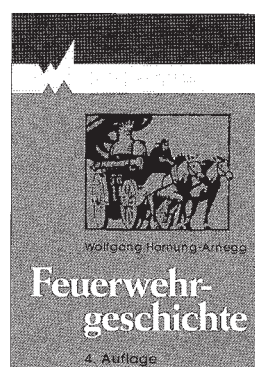
- 1 Dürr, H.-P.: Das Netz des Physikers, Carl Hanser Verlag, München 1988, S. 63
- 2 Mamrot, D.: Zur Komplexität des Verlaufs von Bränden in Bauwerken – Sensitivitätsanalyse; Bergische Universität Gesamthochschule Wuppertal, Heft 7 der Schriftenreihe des Instituts für den konstruktiven Ingenieurbau 1998, Herausgeber Univ.-Prof. Dr.-Ing. W. Klingsch
- 3 Dombrowsky, W.; Schuh, H.: Verhalten von Menschen bei Bränden, Forschungsbericht Nr. 63; Arbeitsgemeinschaft der Innenministerien der Bundesländer, Arbeitskreis V – Unterausschuss »Feuerwehrangelegenheiten«, Karlsruhe 1988, S. 4
- 4 Dombrowsky, W.: Verhalten bei Bränden, Forschungsbericht Nr. 71, Arbeitsgemeinschaft der Innenministerien der Bundesländer, Arbeitskreis V – Unterausschuss »Feuerwehrangelegenheiten«, Karlsruhe 1989, S. 65
- 5 International Organisation for Standardisation, TC 92/SC 4, VFDB-Zeitschrift 2/1997, S. 73
- 6 Schneider, J.: Risiko und Sicherheit technischer Systeme, Birkenhäuser Verlag, Basel 1991
- 7 Vester, F.: Die Kunst vernetzt zu denken, Ideen und Werkzeuge für einen neuen Umgang mit Komplexität, dtv, München, 2002

## Einmalige Sonderausgabe

Wolfgang Hornung-Arnegg

### Feuerwehrgeschichte

4., überarb. und erw. Auflage  
1995. 158 Seiten mit 53 Abb.  
Kart. € 7,90  
ISBN 3-17-013203-2



„Hornung versteht es, in kurzer und knapper Form die wesentlichsten und interessantesten Daten aus der Feuerwehrgeschichte – geordnet nach Jahren – zu vermitteln. Immer wieder stößt der Leser auf Überraschungen und längst vergessen geglaubte Informationen bzw. Details. Selbst für denjenigen, der sich nur am Rande für die Feuerwehrgeschichte interessiert, stellt der Titel eine kurzweilige Lektüre dar – für den Kreis derjenigen, die sich intensiv mit dem Thema beschäftigen, ist der ‚Hornung‘ sozusagen ein muß.“

112-Magazin der Feuerwehr