

Zusammenfassung und Wertung für die praktische Umsetzung

Der vorliegende Forschungsbericht beschäftigt sich mit der Problematik von Gasexplosionen im Hochbau. Aufbauend auf der Entwicklung eines Bemessungsansatzes auf stochastischer Basis werden konstruktive Regeln für die Praxis erarbeitet, um das Risiko eines Einsturzes von Gebäuden oder tragenden Gebäudeteilen infolge einer internen Gasexplosion zu reduzieren.

Gasexplosionen werden aufgrund der geringen Ausbreitungsgeschwindigkeit der Druckwelle, im Vergleich zu einer Detonation, als Deflagration bezeichnet. Der resultierende Explosionsdruck, der gleichzeitig auf alle raumabschließenden Bauteile wirkt, ist von einer Vielzahl von Parametern abhängig, die im Rahmen dieses Forschungsauftrags mithilfe numerischer Berechnungen analysiert werden. Der Maximaldruck von ca. 8 bar (800 kN/m²) in geschlossenen Räumen lässt sich vor allem durch die Anordnung von Druckentlastungsflächen deutlich reduzieren. Fenster stellen dabei die wichtigste Form von Druckentlastungsflächen dar. Anhand der durchgeführten Untersuchungen und Literaturlauswertungen konnte festgestellt werden, dass Gegenstände und andere Hindernisse erhebliche Turbulenzen des Gas-Luftgemisches erzeugen, was zur einer Vervielfachung des Explosionsdruckes im Rauminnen - im Vergleich zu einem turbulenzfreien Raum - führt. Einen signifikanten Einfluss hat auch die Lage des Zündpunktes in Abhängigkeit des Abstandes zur Druckentlastungsfläche.

Aufbauend auf den durchgeführten numerischen Untersuchungen wird ein neuartiger Bemessungsansatz entwickelt, mit dem sich eine statische Ersatzdruckbeanspruchung der Explosionsbelastung in Abhängigkeit des Verhältnisses A_v/V (Fläche der Druckentlastungsfläche/Raumvolumen) bestimmen lässt. Es konnte festgestellt werden, dass bei im Wohnungsbau üblichen Wandelementen (Höhe bis ca. 3,0 m) aus Mauerwerk und Stahlbeton die Eigenfrequenz der Bauteile weit genug von der Erregerfrequenz der Explosionseinwirkung entfernt liegt, so dass man von einer quasi-statischen Beanspruchung ausgehen kann. Der in der vorliegenden Arbeit entwickelte Bemessungsansatz ermöglicht die Einhaltung des Grenzwertes der Versagenswahrscheinlichkeit gemäß DIN 1055-100 (2001) unter Berücksichtigung der Auftretenswahrscheinlichkeit eines derart seltenen Lastereignisses. Die Funktion zur Bestimmung des Bemessungsdruckes lautet:

$$E_d = \frac{0,015}{(A_v/V)^{1,05}} \cdot \left(1 + 0,98 \cdot \left(\frac{0,4}{(A_v/V)^{0,05}} - 0,25 \right) \right) \geq E_{d,min} = 10 \frac{kN}{m^2} \quad (1)$$

- E_d : Bemessungswert der äquivalenten statischen Ersatzdruckbeanspruchung
 A_v : Größe der Druckentlastungsfläche im betrachteten Raum
 V : Raumvolumen im betrachteten Raum

Abbildung 1 zeigt den Verlauf der statischen Ersatzdruckbeanspruchung entsprechend Gleichung 1 im Vergleich zu den derzeit gültigen normativen Regelungen gemäß DIN 1055-9 (2003), in Abhängigkeit des Druckentlastungskoeffizienten A_v/V .

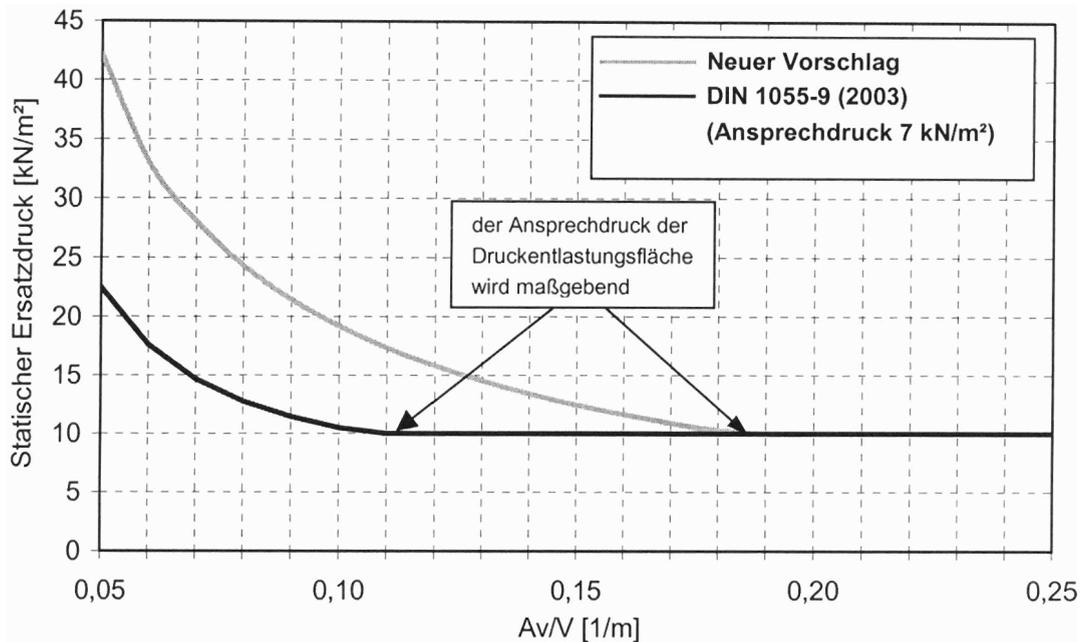


Abbildung 1: Verlauf des Bemessungswertes der Ersatzdruckbeanspruchung für Gasexplosionen

Der Vergleich mit den Bemessungswerten gemäß DIN 1055-9 (2003) verdeutlicht, dass der normative Ansatz bis zu einem Druckentlastungskoeffizienten von 0,185 zu geringeren Ersatzdruckbeanspruchungen führt als der eigene Ansatz. Dies ist dadurch zu begründen, dass die Bemessungswerte gemäß DIN 1055-9 (2003) anhand von Versuchen in einem Versuchsraum mit quadratischer Grundrissfläche sowie einer Zündung in Raummitte kalibriert wurden. Die durchgeführten numerischen Berechnungen des Explosionsdruckes haben jedoch ergeben, dass längliche Grundrissflächen bei einer Zündung in dem von der Druckentlastungsfläche entferntesten Raumdrittel zu deutlich höheren Explosionsbeanspruchungen führen.

Aufbauend auf den Erkenntnissen der durchgeführten Untersuchungen, können folgende konstruktive Hinweise zur Verringerung des resultierenden Explosionsinnendruckes formuliert werden: In jedem Raum mit Gasanschluss sollte generell ein Gasmelder eingebaut werden, um ausströmendes Gas sofort zu identifizieren und somit die Explosionsgefahr infolge der Bildung eines zündfähigen Gas-Luftgemisches zu minimieren. Durch die Anordnung von möglichst großen Fensterflächen kann der im Explosionsfall resultierende Innendruck signifikant gesenkt werden. Die Druckentlastungsflächen (z. B. Fenster) sollten einen möglichst geringen Ansprechdruck aufweisen und vorzugsweise in Wandmitte der längsten Außenwand im betroffenen Raum angeordnet werden. Dadurch wird ein schnelles Entweichen des bereits verbrannten Gas-Luftgemisches in die Außenumgebung ermöglicht und der resultierende Explosionsinnendruck signifikant gesenkt. Der Einfluss von Trennwänden, die bei einem Explosionsereignis versagen, kann auf Grundlage der durchgeführten Analysen nicht eindeutig geklärt werden. In den meisten Fällen führte das Versagen der Trennwände zu einem höheren Innendruck, was wahrscheinlich auf eine Vergrößerung der Turbulenzen des Gas-Luftgemisches zurückzuführen ist. Weiterhin ist eine rasche Reduzierung des Rauminnendru-

ckes nur dann möglich, wenn (bei üblicher Bebauung) im Abstand von mindestens 10 m von der Druckentlastungsfläche keine Hindernisse, z.B. in Form von Nachbargebäuden, vorhanden sind. Tabelle 1 fasst die wichtigsten Einflussfaktoren auf den resultierenden Explosionsinnendruck zusammen.

Randbedingung	günstig	ungünstig
Einsatz von Gasmeldern	in gefaludeten Räumen	
Raumgeometrie	quadratisch	länglich
Druckentlastungsfläche	A_e/V L 0,2 bis 0,15	$A_e/V \leq 0,05$
Anordnung der Druckentlastungsfläche	in Wandmitte (vor allem bei langen Außenwänden)	in weiter Entfernung vom Grundrissmittelpunkt (z.B. in Raumecken)
Trennwände	i.d.R. vermeiden	Trennwände mit hoher Masse und hohem Berstdruck
Ansprechdruck der Druckentlastungsfläche	$\leq 7 \text{ kN/m}^2$	$L 7 \text{ kN/m}^2$
Turbulenzen	leerer Raum ohne Stützen im Raum oder einspringende Wände etc.	starke Möblierung, Stützen im Rauminernen
Abstand zum Nachbargebäude	$> 10 \text{ Meter}$	$< 10 \text{ Meter}$

Tabelle 1: Zusammenstellung der wichtigsten Einflüsse auf den Explosionsdruck

Insbesondere unbewehrte Mauerwerkskonstruktionen sind bei Gasexplosionen gefährdet, da sie bei niedrigen Auflasten über eine relativ geringe Biegetragfähigkeit verfügen. Durch die Aktivierung eines mehrachsigen Lastabtrages mithilfe entsprechender Aussteifungsstützen kann die Tragfähigkeit solcher Wände jedoch signifikant gesteigert werden. Außerdem sollten Stahlbetondecken eine durchgehende obere und unter Bewehrung aufweisen, die im Bereich von Wänden zur Abfangung von entsprechenden Lasten aus oberen Geschossen sowie zur Aufnahme von Bogenschubkräften bei einachsigen gespannten Mauerwerkswänden, ausreichend dimensioniert sein sollte.

Generell sollte das Risiko eines Einsturzes von tragenden Bauteilen, welche für die Gesamttragfähigkeit eines Gebäudes wichtig sind, minimiert werden. In Abbildung 2 ist daher die „kurze Wand (1)“ im gefährdeten Raum durch eine Trennfuge vom Rest des Gebäudes entkoppelt worden. Dadurch wird ein Versagen dieser Wand forciert, was mit einem rapiden Druckabfall im Rauminnern einhergeht und somit das Versagen der für die Gesamttragfähigkeit wichtigen „langen Wand (2)“ deutlich reduziert.

Darüber hinaus liefert Abbildung 2 eine sinnvolle Anordnung von aussteifenden Bauelementen, die vorzugsweise aus Stahlbetonstützen zur Aufnahme von Zugkräften bestehen sollten. Tabelle 2 stellt die wesentlichen Erkenntnisse zur Steigerung der Traglast von unbewehrten Mauerwerkswänden zusammen.

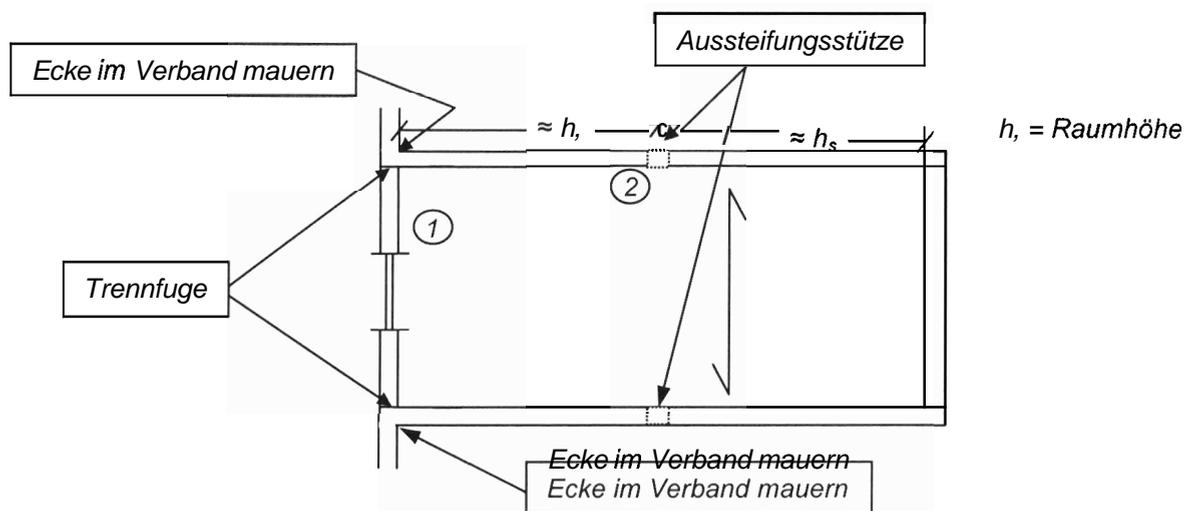


Abbildung 2: Anordnung von aussteifenden Bauteilen und Trennfugen

Randbedingung	günstig	ungünstig
Lagerung von Mauerwerkswänden	4-seitig	2-seitig
Tragfähigkeit unbewehrter Mauerwerkswände	hohe Auflast	Geringe Auflast bei tragenden Wänden
Ausbildung der Wandhalterungen	siehe Bild 2	
Aussteifungsstützen	im Abstand der Raumhöhe	
Stahlbetondecken	1. Bewehrung durchgängig oben und unten 2. Bewehrung über gefährdeten Wänden verstärken	nur untere Bewehrung
Schubtragfähigkeit	hohe Auflast, konstruktive Anbindung an die Decke	Fertigteile ohne Schubverbindungsmittel
Anordnung von Gasverbrauchern	im Dachgeschoss	im Keller

Tabelle 2: Möglichkeiten zur Steigerung der Traglast einer Konstruktion im Explosionsfall

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass sich die Vorhersage des resultierenden Innendruckes bei einem Gasexplosionsereignis schwierig gestaltet und dass eine Bestimmung der Lastintensität mit vielen Annahmen und Unsicherheiten verbunden ist. Die Begründung hierfür ist unter anderem die Interaktion der für die Druckentwicklung maßgebenden Einflussparameter, welche im Rahmen dieses Forschungsauftrages nur näherungsweise berücksichtigt werden konnte. Der in dieser Arbeit entwickelte Bemessungsansatz liefert auf der sicheren Seite liegende Ersatzlasten für gängige Grundrissformen, erlaubt durch die konservative Abschätzung einiger Einflussparameter jedoch nicht in allen Fällen die Ausführung wirtschaftlicher Bauweisen. Für einen allgemein gültigen Bemessungsansatz, der alle Einflussgrößen variabel und realitätsnah berücksichtigt, sind weiterführende numerische Simulationen und experimentelle Analysen erforderlich.

Die zusammengestellten konstruktiven Regeln können dazu beitragen, den resultierenden Explosionsdruck zu minimieren und dadurch die Einsturzgefahr eines Gebäudes zu reduzieren.