





**Abb.3.88:** Staubexplosion in einem seitlich druckentlasteten  $1\text{m}^3$ -Behälter



**Abb.3.89:** Staubexplosion in einem nach oben entlasteten  $10\text{m}^3$ -Behälter



**Abb.3.90:** Staubexplosion in einem allseitig entlasteten  $30\text{m}^3$ -Behälter



**Abb.3.91:** Staubexplosion in einem seitlich entlasteten  $60\text{m}^3$ -Bunker

Als erste Konsequenz versuchte Heinrich[64], durch die Einführung von Korrekturfaktoren (0,5-1,0), mit denen der maximale zeitliche Druckanstieg in der Hartmann-Apparatur zu multiplizieren war,

# Wolfgang Bartknecht

- 88 - 3.3 Explosionsfeste Bauweise für den reduzierten maximalen Explosionsüberdruck in Verbindung mit Explosionsdruckentlastung

eine bessere Anpassung der Rechenwerte an die Messwerte zu erreichen und damit die Laborapparatur als Messprinzip für die Bestimmung von Druckentlastungsflächen zu erhalten. Dies gelang zwar teilweise, war aber insgesamt gesehen unbefriedigend.

Heinrich kehrte daher zur Ausgangsgleichung (3.36) zurück, die man für ein konstantes Volumen V wie folgt darstellen kann

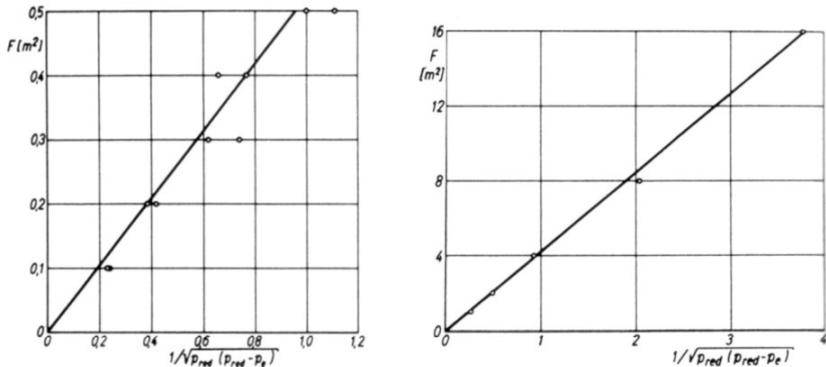
$$A = m \cdot \frac{1}{\sqrt{p_{red,max} \cdot (p_{red,max} - 1)}} \quad [m^2] \quad (3.38)$$

und wies die Gültigkeit dieser Beziehung anhand vorhandener experimenteller Untersuchungsergebnisse nach, wie in den Abb.3.92 beispielhaft gezeigt wird.

Aus dem Anstieg in der Geraden

$$m = \frac{(dp/dt)_{red,max,V}}{\alpha \sqrt{2RT/M}} \quad (3.39)$$

kann demzufolge ohne weiteres der reduzierte maximale zeitliche Druckanstieg für ein vorgegebenes Volumen und einen bestimmten



**Abb.3.92:** Entlastungsfläche  $F=A$  als Funktion der inversen Wurzel aus dem reduzierten Explosionsüberdruck  $p_{red} \triangleq p_{red,max}$  [64]

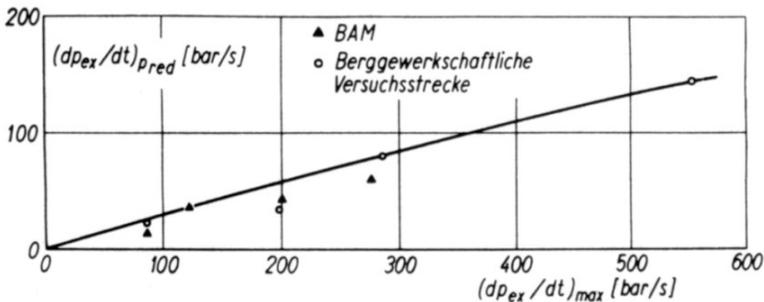
-links PAN-Staub,  $V = 5m^3$ ,  $p_{stat} = konst.$ )

-rechts Braunkohlenstaub,  $V = 500m^3$ ,  $p_{stat} = konst.$ )

statischen Ansprechüberdruck ermittelt werden. Heinrich ging also davon aus, dass unter diesen Bedingungen diese Kenngröße un-

abhängig von der Grösse der Entlastungsfläche ist, was jedoch nicht experimentell bestätigt wurde. Trotz dieser Tatsache wurde eine recht gute Anpassung der Rechenwerte an die Messwerte mit vertretbaren Unterschieden erreicht.

Weil der Geradenanstieg der direkten Messung nicht zugänglich ist, sondern umfangreiche Untersuchungen notwendig sind, wurde eine andere Bezugsgrösse gesucht. Hierfür bot sich der maximale zeitliche Druckanstieg  $(dp/dt)_{max}$  im  $1m^3$ -Behälter an, der nach einem zwischenzeitlich vereinbarten und genormten Verfahren bestimmt wurde. Heinrich standen nicht nur Eigenmessungen zur Verfügung, sondern aufgrund der damaligen guten Zusammenarbeit auch diejenigen anderer Prüfstellen. Er rechnete den in explosionsdruckentlasteten Behältern für einen brennbaren Staub gemessenen reduzierten maximalen zeitlichen Druckanstieg nach dem Kubischen Gesetz auf ein Volumen von  $V = 1m^3$  um und stellte ihn in Relation zum maximalen zeitlichen Druckanstieg in diesem Behälter (Abb.2.239).



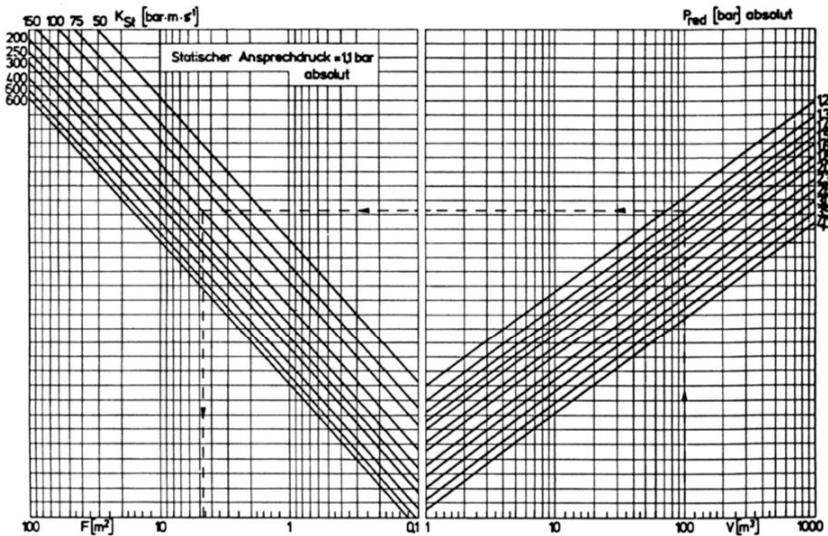
**Abb.3.93:** Reduzierter maximaler zeitlicher Druckanstieg  $(dp/dt)_{p_{red}} (\hat{=} (dp/dt)_{red,max})$  als Funktion des maximalen zeitlichen Druckanstiegs  $(dp_{ex}/dt)_{max} (\hat{=} (dp/dt)_{max})$

$$(V = 1m^3, \text{Beispiel } p_{stat} = 0,1 \text{ bar})$$

Mit zunehmendem statischem Ansprechüberdruck der Berstscheibe verschiebt sich der in Abb.3.93 gezeigte Kurvenzug zu höheren Werten hin. Damit war dem Einfluss des Ansprechüberdruckes Rechnung getragen.

# Wolfgang Bartknecht

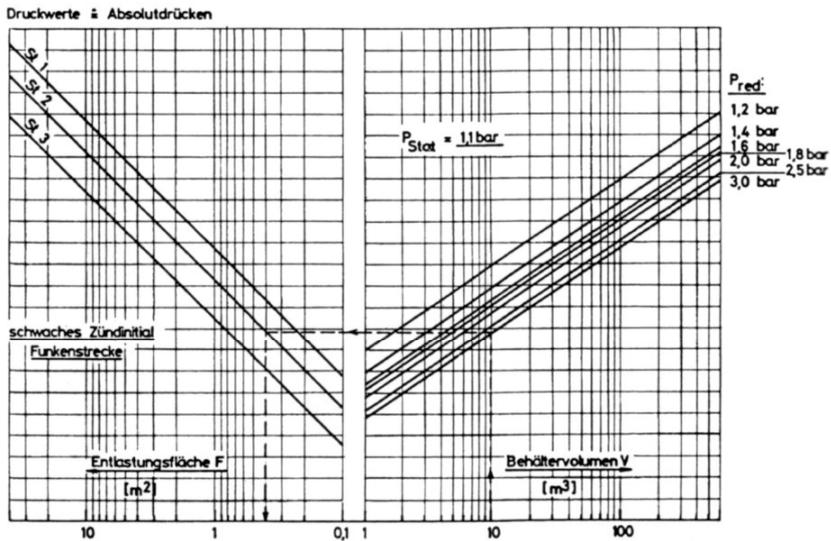
- 90 - 3.3 Explosionsfeste Bauweise für den reduzierten maximalen Explosionsüberdruck in Verbindung mit Explosionsdruckentlastung



**Abb.3.94:** Nomogramm für die Bestimmung der Entlastungsfläche  $F$  von Staubexplosionen in Behältern in Abhängigkeit von der staubspezifischen Kenngröße  $K_{St}$  (Beispiel:  $p_{stat} = 0,1 \text{ bar}$ )

Die auf diese Weise in Abhängigkeit von der Explosionsheftigkeit eines brennbaren Staubes bestimmten Werte für den reduzierten maximalen Explosionsüberdruck setzte Heinrich in die Endgleichung (Gl.3.37) ein und entwickelte ein neues Nomogramm für den Flächenbedarf (Abb.3.93, Beispiel:  $p_{stat} = 0,1 \text{ bar}$ ).

Zur gleichen Zeit wurde seitens des Arbeitskreises „**Brennbare Stäube**“ der chemischen Industrie ein weiteres Nomogramm entwickelt (Abb.3.95, Beispiel:  $p_{stat} = 0.1 \text{ bar}$ ), das **den Flächenbedarf in Abhängigkeit von der Staubexplosionsklassen  $St$  beschreibt**. In diesem Fall wurden die experimentell bestimmten Druck-Flächen-Kurven einer Reihe von brennbaren Stäuben in vorgegebenen Volumina nach dem „Kubischen Gesetz“ auf andere Volumina umgerechnet.



**Abb.3.95:** Nomogramm für die Bestimmung der Entlastungsfläche F von Staubexplosionen in Behältern in Abhängigkeit von der Staubexplosionsklasse (Beispiel:  $p_{stat} = 0,1 \text{ bar}$ )

Beide Nomogramme gelten für brennbare Stäube mit einem maximalen Explosionsüberdruck von  $p_{max} = 10 \text{ bar}$  (Staubexplosionsklassen St 1 und St 2) bzw.  $p_{max} = 12 \text{ bar}$  (Staubexplosionsklasse St 3).

Für die Bestimmung der Entlastungsfläche F wird auf der Abszisse des rechten Teils des Nomogramms der Wert für das Volumen V gesucht. Von dort geht man senkrecht nach oben bis zum Schnittpunkt mit der Isobaren, die den gewünschten Wert für den Entlastungsdruck angibt, der der Behälterfestigkeit entspricht. Von hier wird eine Parallele zur Abszisse bis zum Schnittpunkt mit der im linken Nomogramnteil gelegenen geeigneten Geraden gezogen, die alle Punkte der gleichen staubspezifischen Kenngröße  $K_{St}$  bzw. der gleichen Staubexplosionsklasse verbindet. Der Abszissenwert dieses Schnittpunktes gibt für Berstsicherungen unmittelbar die Größe der erforderlichen Druckentlastungsfläche an, die **im Bedarfsfall, wie bei den Brenngasen (Abb.3.80), in Einzelflächen aufgeteilt werden kann.**

**Wie gezeigt wurde, ist das mathematische Vorgehen bei der Entwicklung der Nomogramme unterschiedlich. Daher können**

# Wolfgang Bartknecht

- 92 - 3.3 Explosionsfeste Bauweise für den reduzierten maximalen Explosionsüberdruck in Verbindung mit Explosionsdruckentlastung

**sich bei der Flächenberechnung Unterschiede ergeben, die jedoch sicherheitstechnisch vertretbar sind.**

Umfangreiche Untersuchungen haben ergeben, dass bei zu hohen Werten für den reduzierten maximalen Explosionsüberdruck die Streuung der Messwerte stark zunimmt. Die Nomogramme sind daher auf  $2 \text{ bar} \pm 3 \text{ bar}$ , abs. begrenzt.

Die Nomogrammdarstellungen wurden schliesslich in die VDI-Richtlinie 3673 "Druckentlastung von Staubexplosionen"[66] übernommen (Abb.2.242), die ebenfalls Nomogramme für einen stati-



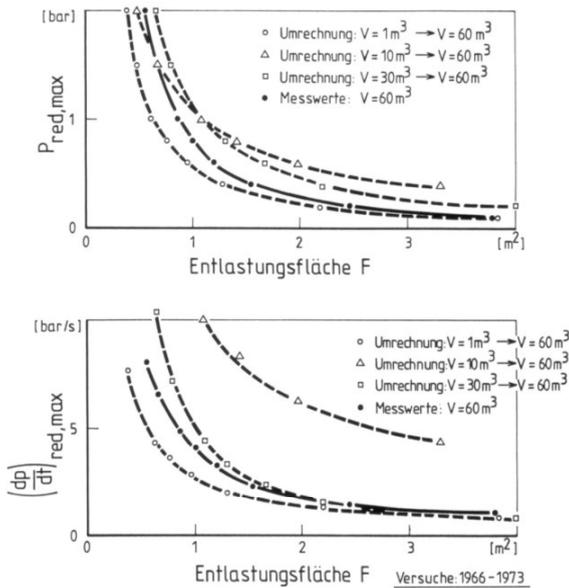
**Abb.3.96:** Deckblatt der VDI-Richtlinie 3673 "Druckentlastung von Staubexplosionen"

sehen Ansprechüberdruck von  $p_{stat} = 0,2 \text{ bar}$  bzw.  $p_{stat} = 0,5 \text{ bar}$  enthält.

Mit dem Erscheinen dieser Richtlinie wurde die seinerzeit häufig gestellte Frage nach der "ausreichenden Bemessung von Explosionsdruckentlastungsöffnungen an Behältern und Apparaten" beantwortet. Dr. G. Leuschke von der Bundesanstalt für Materialprüfung in Berlin hat sich als Obmann des entsprechenden VDI-Arbeitskreises bei ihrer Erstellung grosse Verdienste erworben. Die

Anwendung der Richtlinien in der Praxis hat sich, auch im Ausland, in mehr als 10 Jahren bewährt[67].

Es wurde bereits darauf hingewiesen, dass der Rechenansatz von Heinrich und von Donat davon ausgeht, dass für die Veränderung des reduzierten maximalen zeitlichen Druckanstiegs und damit für die Veränderung der Entlastungsfläche mit dem Behältervolumen das Kubische Gesetz gilt. Eine Überprüfung der in den Jahren 1966-1973 durchgeführten Explosionsdruckentlastungsversuche[74] zeigt, dass dies nicht der Fall ist.



**Abb.3.97:** Kohlenstaub: Reduzierte maximale Explosionskenngrößen als Funktion der Entlastungsfläche F: Flächenumrechnung nach dem Kubischen Gesetz

- ( $p_{\max} = 7,7 \text{ bar}$ ,  $K_{St} = 85 \text{ bar}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}$ ,  $p_{\text{stat}} = 0,1 \text{ bar}$ ) -

Abbildung 3.97 macht nämlich am Beispiel von Kohlenstaub deutlich, dass die Umrechnung des mit kleineren Behältern festgestellten Flächenbedarfs auf einen  $60\text{m}^3$ -Behälter keinesfalls die erwartete Deckungsgleichheit zwischen den reduzierten maximalen Explosionskenngrößen und der Entlastungsfläche F ergibt, und der errechnete Flächenbedarf teils über, teils unter den Messwerten des Grossbehälters liegt. Die Streuung ist daher, wie bei den Brenngasen (Abb.3.77), nicht unerheblich.

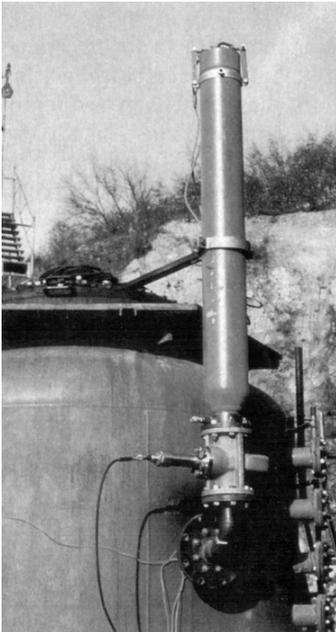
Als Ursache hierfür ist anzusehen, dass bei der **Explosionsdruckentlastungsversuchen der Frühzeit** (1966 - 1973) einerseits

## Wolfgang Bartknecht

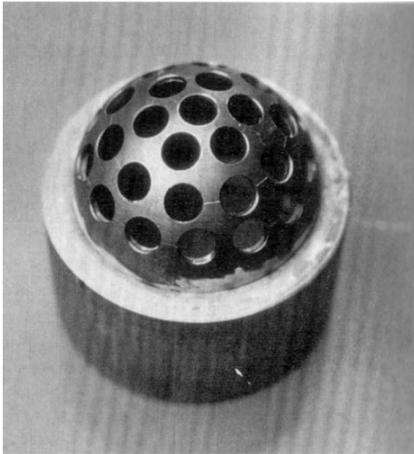
- 94 - 3.3 Explosionsfeste Bauweise für den reduzierten maximalen Explosionsüberdruck in Verbindung mit Explosionsdruckentlastung
- insbesondere für die Versuche benutzten entlasteten grossvolumigen Behältern **nicht explosionsfest** für den maximalen Explosionsüberdruck gebaut waren, d.h. die maximalen Explosionskenngrossen der verwendeten brennbaren Stäube konnten im Hinblick auf das angewendete Staubuntersuchungsverfahren nicht überprüft werden, und andererseits
  - die für die Gültigkeit des kubischen Gesetzes verlangte **Proportionalität zwischen dem Behältervolumen und der Anzahl der Staubvorratsbehälter** (s. Abb.1.117) einschliesslich des vorgesehenen Treibmitteldruckes nicht immer gegeben war.

Dies waren die Gründe, ein **neues Staubuntersuchungsverfahren** zu entwickeln um auch grössere Volumina mit einem **homogene Staub/Luft-Gemisch** zu befüllen:

Hierfür wurden verwendet:



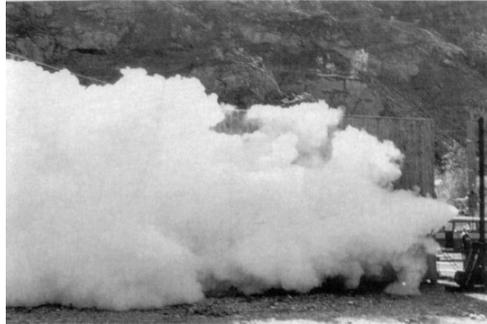
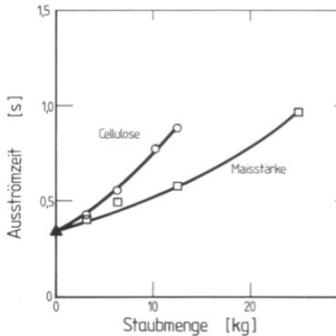
**Abb.3.98:** Ein langgestreckter 50l-Staubvorratsbehälter



**Abb.3.99:** Eine Kugeldüse für die Staubverteilung, über einen 90°-Krümmer dem

mit unten angeflanschem  
Berstscheibenventil DN 100

Berstscheibenventil nachgesetzt



**Abb.3.100:** Bei einem Treibmitteldruck von  $p_{\text{Luft}} = 20$  bar erlaubt die Anordnung gemäss Abb.3.98/3.99 den Ausstoss von 12.5 kg Cellulose bzw. 25 kg Maisstärke in knapp 1 s ....

**Abb.3.101:** ... mit einer durchschnittlichen Ausbreitungsgeschwindigkeit der Staubwolke von ca. 30 m/s.

Das beschriebene neue Verfahren für die Staubverteilung wurde zunächst erprobt in Verbindung mit dem **explosionsfest konzipierten 10 m<sup>3</sup>-Behälter (Abb.3.73/3.89)**. Einbezogen wurde auch das 10l-System, und zunächst die Zündverzögerungszeiten  $t_v$  festgelegt, bei denen sich im geschlossenen Behältern mit

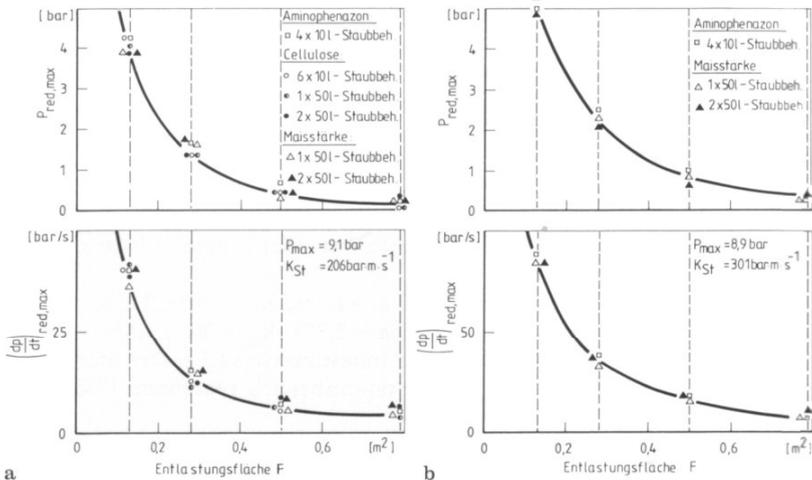
- Cellulose, Maisstärke und Aminophenazon

die folgenden maximalen Explosionskenngrößen im oberen Grenzbereich der Staubexplosionsklassen St1 und St2 aus Messungen über einen breiten Staubkonzentrationsbereich einstellen:

- Staubexplosionsklasse St1:  $p_{\text{max}} = 9,2 \text{ bar} \pm 2,5\%$ ,  
 $K_{\text{St}} = 203 \text{ bar} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1} \pm 3,4\%$ ,
- Staubexplosionsklasse St2:  $p_{\text{max}} = 8,9 \text{ bar} \pm 2,3\%$ ,  
 $K_{\text{St}} = 301 \text{ bar} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1} \pm 5,6\%$

Anschliessend wurden die Explosionsdruckentlastungsversuche wiederum über einen breiten Staubkonzentrationsbereich durchgeführt, und die Druck-Flächenkurven mit dem in Abb.3.102 dargestellten Ergebnis bestimmt:

- 96 - 3.3 Explosionsfeste Bauweise für den reduzierten maximalen Explosionsüberdruck in Verbindung mit Explosionsdruckentlastung



**Abb.3.102:** 10m<sup>3</sup>-Behälter: Reduzierte maximale Explosionskenngrößen als Funktion der Entlastungsfläche für die Staubexplosionsklasse St 1 (a) und die Staubexplosionsklasse St 2 (b) ( $p_{stat} = 0,1 \text{ bar}$ )

**Wie man erkennt, sind die Druck-Flächenkurven im Rahmen der Versuchsgenauigkeit nicht nur unabhängig von der Staubart, sondern auch von dem System, mit dessen Hilfe die Staub/Luft-Gemische erstellt werden, wenn die Zündverzögerungszeiten so gewählt werden, dass sich im geschlossenen Behälter die gewünschten staubspezifischen Kenngrößen einstellen.**

Diese wichtige, den Versuchsaufwand mindernde Feststellung wurde für Cellulose und Maisstärke auch für den 25m<sup>3</sup> -Behälter bestätigt.

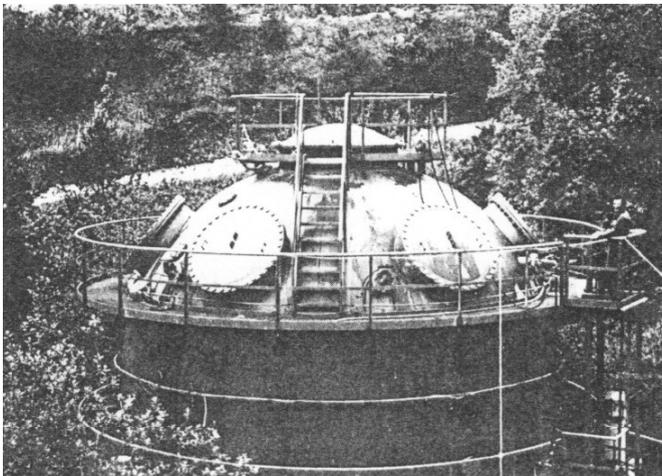
Um die bisher gewonnenen Erkenntnisse zur Frage der Explosionsdruckentlastung brennbarer Stäube abzusichern, wurden die Untersuchungen mit einem explosionsfest für den maximalen Explosionsüberdruck gebauten 250 m<sup>3</sup>-Behälter kugelförmiger Bauform weitergeführt.

Es wurde in der gleichen Weise verfahren wie mit dem 10 l-Behälter (s. Abb.3.102):

- Verwendung von Maisstärke aus brennbaren Feinstaub,



**Abb.3.103:** Geschlossener 250 m<sup>3</sup>-Behälter mit zehn 50l-Staubvorratsbehältern bestückt.



**Abb.3.104:** 250 m<sup>3</sup>-Behälter mit oben angeordneter Entlastungsöffnung  $F = 3.14 \text{ m}^2$ : Berstscheiben unmittelbar vor dem Ansprechen beim statischen Abdrücken.

## Wolfgang Bartknecht

- 98 - 3.3 Explosionsfeste Bauweise für den reduzierten maximalen Explosionsüberdruck in Verbindung mit Explosionsdruckentlastung
  - Anwendung des 50l-Staubverteilungssystems mit 10
  - gleichmässig auf der Kugeloberfläche verteilten Staubvorratsbehältern (Abbildung 3.103),
  - Festlegung der Zündverzögerungszeit  $t_v$  den oberen Grenzbereich der Staubexplosionsklasse St1 und St2 **aus Messungen über einen breiten Staubkonzentrationsbereich im geschlossenen 250m<sup>3</sup>-Behälter.**

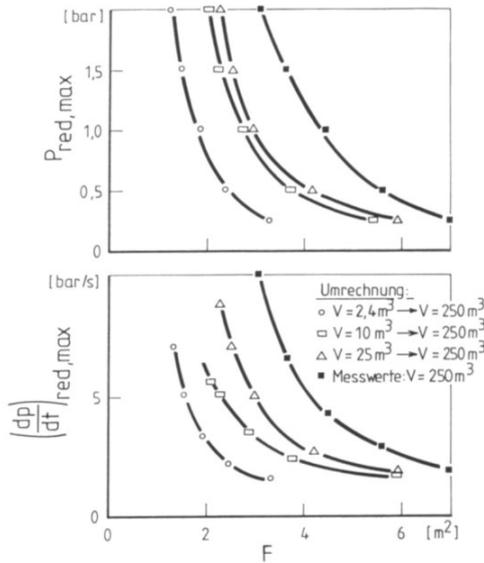
Für die **Explosionsdruckentlastungsversuche** waren wahlweise 12 Entlastungsöffnungen von  $F = 3.14 - 7.8 \text{ m}^2$  vorgesehen. Sie wurden vor Versuchsbeginn mit **Polyäthylen-Folien mit einem statischen Ansprechüberdruck  $p_{\text{stat}} = 0.1 \text{ bar}$**  verschlossen, nachgewiesen durch statisches Abdrücken mit Luft an Ort und Stelle (Abb.3.104).



**Abb.3.105:** 250 m<sup>3</sup>-Behälter oben über  $F = 3.14 \text{ m}^2$  entlastet: Maisstärke-Explosion bei Optimalkonzentration:  $500 \text{ g/m}^3 \pm 125 \text{ kg}$  Staub.

Die Zündquelle in Form von **pyrotechnischen Zündern mit einem Energieinhalt von  $E = 10 \text{ kJ}$**  war grundsätzlich in **Raummitte angeordnet** (Abb.3.105).

Umrechnung der mit den kleinvolumigeren Behältern ( $V = 2.4 - 25 \text{ m}^3$ ) erarbeiteten Druck-Flächenkurven für die **Staubexplosionsklasse St1** ( $p_{\text{stat}} = 0.1 \text{ bar}$ ) nach dem kubischen Gesetz auf den  $250\text{m}^3$ -Behälter macht trotz der oben beschriebenen Massnahmen erneut deutlich, dass **keine Übereinstimmung** besteht (Abb.3.106), und zwar trotz der Tatsache, dass **in allen Behältern die Untersuchungen über einen breiten Staubkonzentrationsbereich erfolgten**.

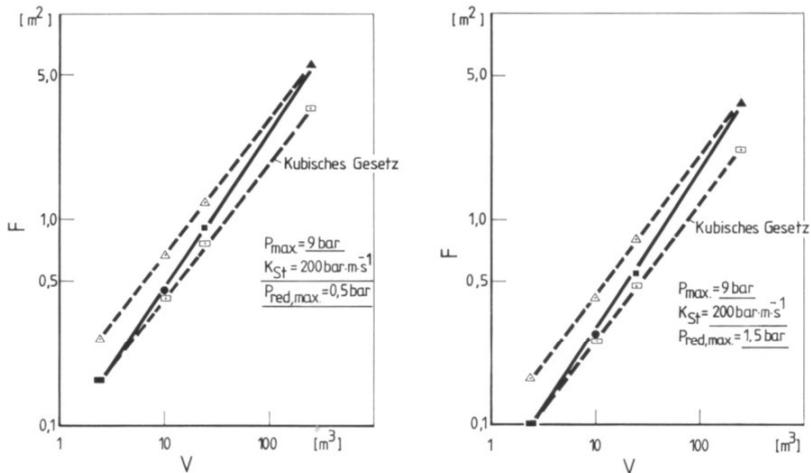


**Abb.3.106:** Umrechnung des Flächenbedarfs  $V = 2.4 - 25 \text{ m}^3$  nach dem **kubischen Gesetz** auf den Flächenbedarf des  $250\text{m}^3$ -Behälters  
 - Staubexplosionsklasse St1,  
 $p_{\text{stat}} = 0.1 \text{ bar}$  -

**Ursache hierfür ist**, dass die Zunahme des Flächenbedarfs mit steigendem Volumen stärker ist (Abb.3.107), als das genannte Gesetz es erwarten lässt, der maximale zeitliche Druckanstieg hingegen im allgemeinen weniger.

## Wolfgang Bartknecht

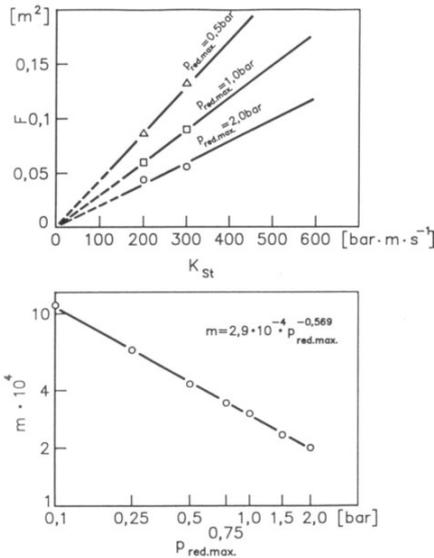
- 100 - 3.3 Explosionsfeste Bauweise für den reduzierten maximalen Explosionsüberdruck in Verbindung mit Explosionsdruckentlastung



**Abb.3.107:** Zusammenhang zwischen Flächenbedarf F und Behältervolumen V: Vergleich Messwerte ↔ Kubisches Gesetz

Das aus sehr umfangreichen Untersuchungen[68] resultierende Ergebnis machte es notwendig, die Nomogrammdarstellungen für die Flächenberechnung für Staubexplosionen (Abb.3.94/3.95) zu überdenken und eine empirische Zahlenwertgleichung wie folgt zu entwickeln:

Abb.3.108 (oben) zeigt für ein Volumen von  $V = 1 \text{ m}^3$  (wie auch für Volumina  $V = 2.4\text{-}250 \text{ m}^3$ ) den **linearen Zusammenhang zwischen Entlastungsfläche F und staubspezifischen Kenngrößen  $K_{\text{St}}$  bei konstantem reduziertem maximalen Explosionsüberdruck  $P_{\text{red,max}}$ .**



**Abb.3.108:** Entwicklung einer empirischen Zahlenwertgleichung für die **Berechnung des Flächenbedarfs homogener Staubwolken** in kubischen Behältern

-  $V = 1 \text{ m}^3$ ,  $p_{max} = 9 \text{ bar}$ ,  $K_{St} \leq 300 \text{ bar} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,  $p_{stat} = 0,1 \text{ bar}$  -

Es gilt daher, bezogen auf die in Abb.3.108 genannten Voraussetzungen:

$$F = m \cdot K_{St} \text{ [m}^2\text{]}$$

wobei (Abb.3.108, unten):

$$m = 2.9 \cdot 10^{-4} \cdot p_{red,max}^{-0.569}$$

d.h.

$$F = 2.9 \cdot 10^{-4} \cdot p_{red,max}^{-0.569} \cdot K_{St} \text{ [m}^2\text{]} \quad (3.40)$$

Wird berücksichtigt, dass sich

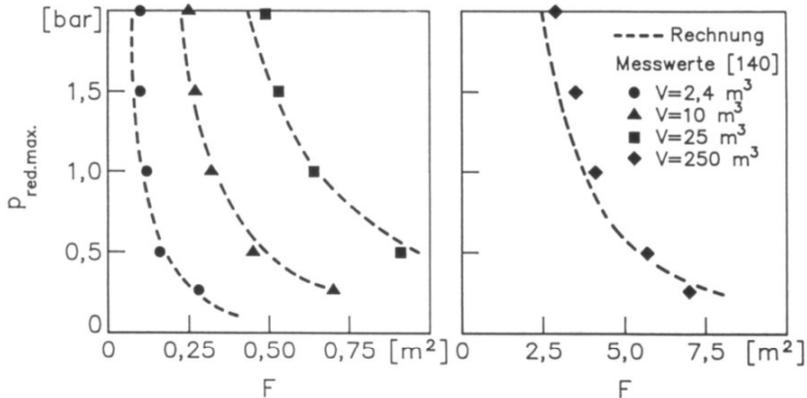
- bei Vorhandensein unterschiedlicher Volumina der Flächenbedarf mit  $V^{0,753}$  verändert, und
- Der Einfluss des maximalen Explosionsüberdruckes durch Multiplikation von Gleichung 3.40 mit dem Faktor  $p_{max}/a$  Rechnung zu tragen ist,

dann gelangt man zu der **Endgleichung:**

$$A = \left( 3.264 \cdot 10^{-5} \cdot p_{max} \cdot K_{St} \cdot p_{red,max}^{-0.569} \right) \cdot V^{0.753} \text{ [m}^2\text{]} \quad (3.41)$$

## Wolfgang Bartknecht

- 102 - 3.3 Explosionsfeste Bauweise für den reduzierten maximalen Explosionsüberdruck in Verbindung mit Explosionsdruckentlastung



**Abb.3.109:** Staubexplosionsklasse St 1: Vergleich des errechneten Flächenbedarfs homogener Staub/Luft-Gemische mit dem gemessenen ( $p_{max} = 9$  bar,  $p_{stat} = 0,1$  bar)

Sie gilt für

- Volumina  $V \leq 10000m^3$ ,
- Behälter mit einem Höhen/Durchmesser-Verhältnis von  $\approx 1$
- statischen Ansprechüberdruck von  $p_{stat} = 0.1$  bar der Entlastungseinrichtung in Form einer Berstscheibe,
- reduzierten maximalen Explosionsüberdruck von  $p_{red,max} \leq 2$  bar, und eine
- staubspezifische Kenngröße  $K_{St} \leq 800 m \cdot bar \cdot s^{-1}$ ,

Abbildung 3.109 zeigt eine gute Übereinstimmung von Rechnung und Experiment.

Der Flächenbedarf kann auch dem in Abb.3.110 dargestellten Nomogramm entnommen werden, wenn der maximale Explosionsüberdruck  $p_{max} = 9$  bar und der statische Ansprechüberdruck der Berstscheibe  $p_{stat} = 0.1$  bar betragen.

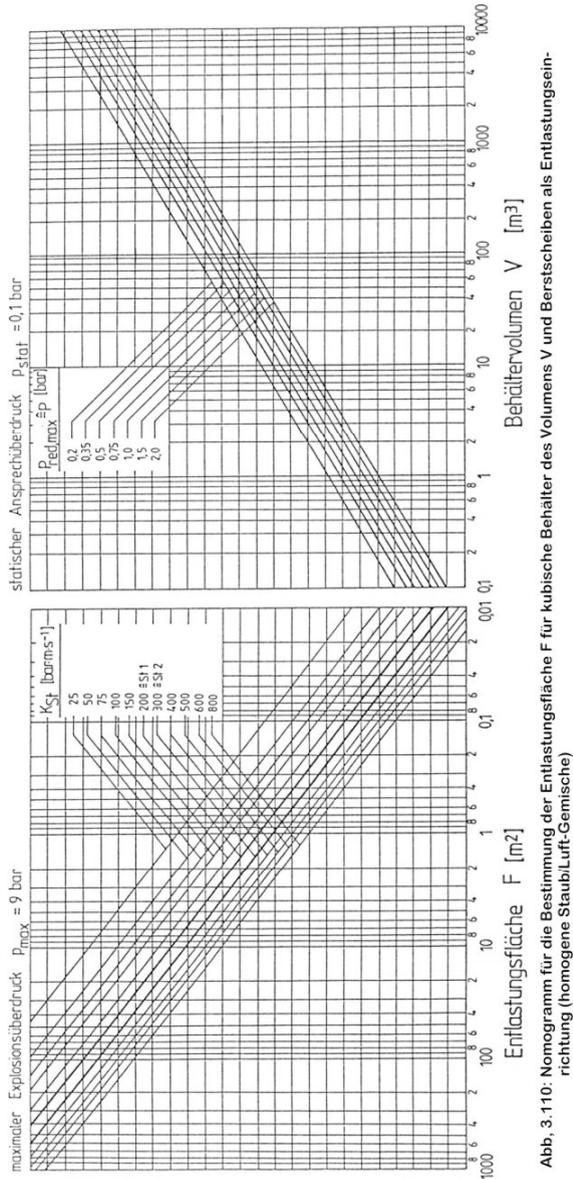


Abb. 3.110: Nomogramm für die Bestimmung der Entlastungsfläche  $F$  für kubische Behälter des Volumens  $V$  und Berstscheiben als Entlastungsrichtung (homogene Staub/Luft-Gemische)

Kann an der Oberfläche eines zu entlastenden kubischen Behälters **nur eine bestimmte Entlastungsfläche  $A$  untergebracht werden**, dann errechnet sich bei der Verwendung von **Berstschei-**

## Wolfgang Bartknecht

- 104 - 3.3 Explosionsfeste Bauweise für den reduzierten maximalen Explosionsüberdruck in Verbindung mit Explosionsdruckentlastung

ben mit einem statischen Ansprechüberdruck von  $p_{\text{stat}} = 0.1$  bar nach Umformung von Gleichung 3.41 die erforderliche Mindestfestigkeit  $p$  nach der Gleichung:

$$p = p_{\text{red,max}} = 1.3 \cdot 10^{-8} \cdot \left[ \frac{p_{\text{max}} \cdot K_{St}}{F} \right]^{1.7575} \cdot V^{1.146} \text{ [bar]} \quad (3.42)$$

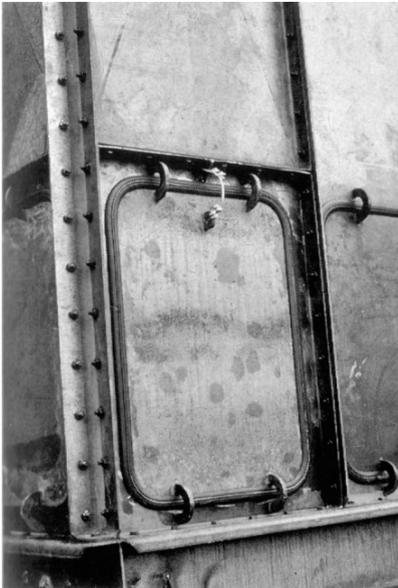
Bei kubischen Behältern ohne Einbauten ist bei der Berechnung der Entlastungsflächen das **Leervolumen zugrunde zu legen**. Sind Einbauten vorhanden (**Filterschläuche oder Filtertaschen**) so kann in der Regel **das Hüllvolumen der Filterelemente vom Behältervolumen abgezogen werden**[56]. Es muss jedoch gewährleistet sein, dass der Entlastungsvorgang von den Einbauten nicht behindert wird.



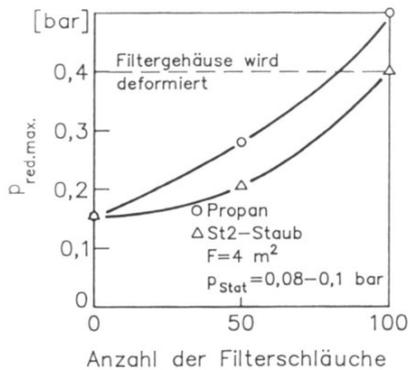
**Abb.3.111:** 13,6m<sup>3</sup>-Schlauchfiltergehäuse (a) und mit Stützkörpern mit Plastiküberzug

Abbildung 3.111 zeigt ein Schlauchfiltergehäuse mit einem Volumen von  $V = 13,6\text{m}^3$ , in das bis zu 100 Filterschläuche (je 50 Fil-

terschläuche getrennt durch einen Inspektionsgang) auf Stützkörben montiert werden können. Aus Kostengründen wurden anstelle der üblichen Tuchfilter die Körbe mit Plastikfolie überzogen. Die Explosionsdruckentlastung erfolgte über **Scheiben in Gummi-klemmprofilen** mit einem Scheibengewicht von  $50 \text{ kg/m}^2$  und einem statischen Ansprechüberdruck von  $p_{\text{stat}} = 0,08\text{-}0,1 \text{ bar}$ . Sie wurden zur Vermeidung vor Sekundärschäden von 8mm-Stahlseilen gehalten.



**Abb.3.112:** Durch ein 8mm-Stahlseil abgesicherte Entlastungs-scheibe



**Abb.3.113:** Reduzierter maximaler Explosionsüberdruck  $p_{\text{red,max}}$  als Funktion der Anzahl der Filterschläuche bei abgedeckter Entlastung

Wird der Druckentlastungsvorgang nicht behindert, dann ist die Schutzmassnahme voll wirksam und es stellt sich bei einer **Druckentlastungsfläche von  $A = 4 \text{ m}^2$**  und

- **Vorhandensein eines Produktes der Staubexplosionsklasse St2 ein reduzierter maximaler Explosionsüberdruck von  $p_{\text{red,max}} \triangleq 0.15 \text{ bar}$  und bei**
- **Vorhandensein von hybriden Gemischen mit Propan solcher von  $p_{\text{red,max}} \triangleq 0.3 \text{ bar}$  ein,**

## Wolfgang Bartknecht

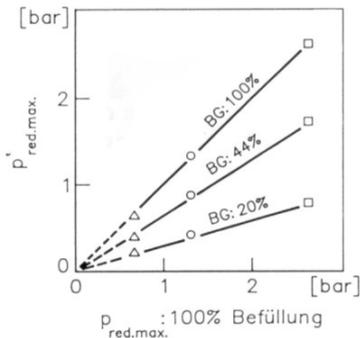
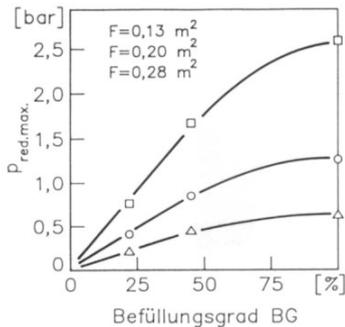
- 106 - 3.3 Explosionsfeste Bauweise für den reduzierten maximalen Explosionsüberdruck in Verbindung mit Explosionsdruckentlastung

ohne dass das Filtergehäuse Schaden nimmt.

**Behindern dagegen die Filterschläuche den Entlastungsvorgang, dann wird trotz Verminderung des freien Volumens, sowohl im Fall eines Brenngases - als auch einer Staubexplosion - das Gehäuse bei einem Druck von  $p_{red,max} \triangleq 0.4$  bar stark deformiert (Abb.3.113).**

Die bisherigen Betrachtungen bezogen sich auf explosionsdruckentlastete kubische Behälter **bei vollständiger Befüllung mit homogenen Staubwolken**. Ist dagegen **Teilbefüllung** vorhanden, vermindert sich wie zu erwarten, der reduzierte maximale Explosionsüberdruck, wenn auch nicht proportional zum **Befüllungsgrad BG** (Abb.3.114, oben). Wird dieser hingegen konstant gehalten (Abb.3.114, unten), dann besteht folgender Zusammenhang zwischen Druck  $p'_{red,max}$  und Befüllungsgrad BG (>10 %), wenn bei voller Befüllung die Druckwirkung  $p_{red,max}$  beträgt.

$$p'_{red,max} = (\log BG - 1) \cdot p_{red,max} \quad [\text{bar}] \quad (3.42)$$



**Abb.3.114:** Einfluss des Befüllungsgrades eines explosionsdruckentlasteten Behälters mit Staub/Luft-Gemisch auf die Druckwirkung ( $V = 6,5\text{m}^3$ ,  $p_{stat} = 0,1$  bar)