

Kaminsprengungen: Beispiele zur Übereinstimmung von Theorie und Praxis

Autor(en): **Steiger, Alfred**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **101 (1983)**

Heft 17

PDF erstellt am: **27.04.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-75123>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein massvolleres Projekt wird gefordert

Mit Rücksicht auf den höchst bedeutsamen Flussraum der Thur muss gefordert werden, dass dieser Landschaft mehr *Behutsamkeit* entgegengebracht wird. Es kann und muss eine massvollere Lösung gefunden werden, die den *wichtigsten Sicherheitsbedürfnissen der Bevölkerung in den extrem gefährdeten Gebieten wohl Rechnung trägt*, die aber andererseits die *unumgänglichen Eingriffe* in den Flussraum in *tragbarem Rahmen* hält.

Die Natur- und Umweltschutzorganisationen sind zur Mitarbeit zu einer Redimensionierung des Projektes bereit, unter der Voraussetzung, dass den Bedürfnissen des Landschafts- und Naturschutzes, der Fischerei und des Vogelschutzes die *gleiche Priorität* beigemessen wird wie den wasserbaulichen Grundsätzen und zwar überall dort, wo nicht besondere Gefahren drohen.

Im Blick über die Thurverbauung hinweg möchten wir festhalten, dass die schonende und pflegliche Behandlung unserer Landschaft ein *unerlässliches*

Gebot ist. Die Erhaltung und Schonung der Umwelt ist ein wichtiger Teil der Politik, nicht nur der Umweltpolitik, sondern der allgemeinen Staatspolitik. Allzulange hat der Mensch seine Herrschaft über die Erde eigenmächtig und rücksichtslos ausgeübt, ohne sich zugleich seiner besonderen Verantwortung bewusst zu sein, die er gegenüber der Nachwelt trägt.

Adresse des Verfassers: Dr. E. Krebs, alt Oberforstmeister des Kantons Zürich, Rundstr. 23, 8400 Winterthur.

Kaminsprengungen

Beispiele zur Übereinstimmung von Theorie und Praxis

Von Alfred Steiger, Effretikon

Hochkaminsprengungen finden immer wieder ein grosses Echo. In diesem Zusammenhang lohnt es sich, einige theoretische Untersuchungen vorzunehmen und ihre Übereinstimmung mit der Praxis aufzuzeigen. Dabei kann auf die Erfahrungen abgestützt werden, die in der GEFAS bei der Sprengung von über 100 Hochkaminen gemacht worden sind.

Knickstelle beim Fall eines Kamins

Bei Sprengungen von Backsteinkaminen kann sehr oft festgestellt werden, dass ein Kamin während der Sturzpha-

se in mehrere Teile zerbricht, wobei sich eine der Bruchstellen *im unteren Drittelpunkt* befindet (Bild 1, 2, 3). Nachstehend wird der theoretische Nachweis dieser Knickstelle *B* erbracht. Die Modellannahmen wurden gemäss Bild 4 getroffen.

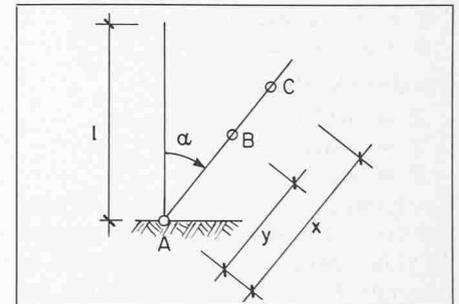


Bild 4. Geometrisches Modell für die Berechnung des Knickpunkts B

Dabei bedeuten:

- l = Länge des Kamins
- G = Masse des Kamins
- A = Drehpunkt
- B = Knickstelle
- C = Ort des Massenelements $dm = \frac{G}{l} dx$
- x = Abstand des Massenelements vom Drehpunkt A

Bild 1. Beispiel für Knickstelle (Schlachthof Luzern)



Bild 2. Beispiel für Knickstelle (Waggon-Fabrik Schlieren)

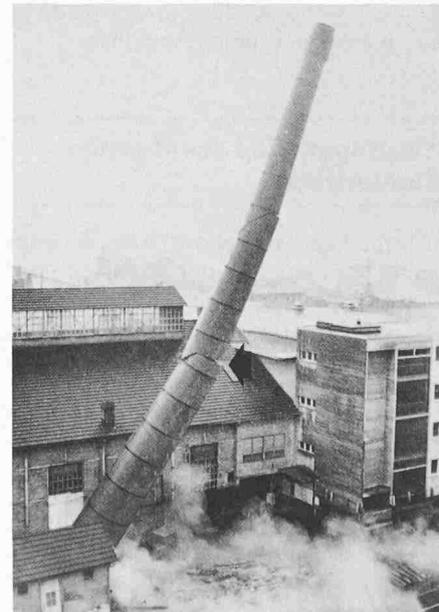
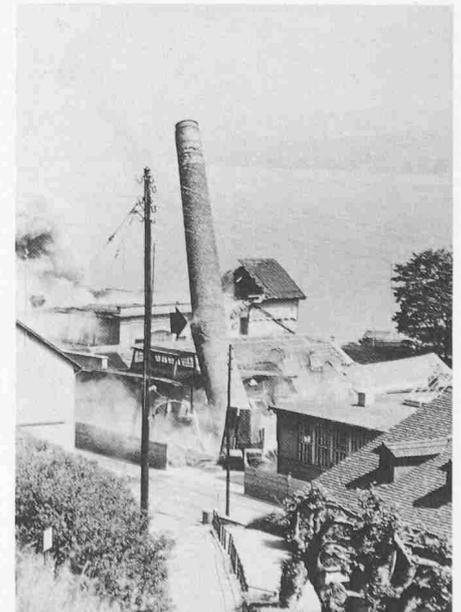


Bild 3. Beispiel für Knickstelle (Färberei Thalwil)



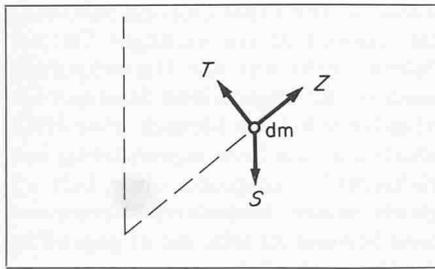


Bild 5. Annahme der am Massenelement dm wirkenden Kräfte

y = Abstand der Knickstelle B vom Drehpunkt A
 I = Trägheitsmoment des Kamins
 bezüglich A : $I = \frac{G l^2}{3}$

Auf das Massenelement dm wirken die Kräfte gemäss Bild 5.

Dabei bedeuten:

- Z = Zentrifugalkraft
- T = Trägheitskraft
- $\ddot{\alpha}$ = Winkelbeschleunigung = $\frac{d^2\alpha}{dt^2}$
- S = Schwerkraft

Für diese Kräfte gilt

$$\begin{aligned} Z &= m \dot{\alpha}^2 x \\ T &= -m \ddot{\alpha} x \\ S &= mg \end{aligned}$$

Zur Ermittlung der Knickstelle B wird der Ort des maximalen Biegemoments $M(y)$ berechnet. Für dieses Moment ist folgende Kraft des Massenpunkts dm massgebend:

$$\begin{aligned} dK &= dm g \sin \alpha - dm x \ddot{\alpha} \\ dK &= \frac{G}{l} dx g \sin \alpha - \frac{G}{l} dx x \ddot{\alpha} \end{aligned}$$

Das Biegemoment M von dK in bezug auf den Punkt B (y) beträgt

$$M(y) = \frac{G}{l} \left\{ \ddot{\alpha} \int_y^l x(x-y) dx - g \sin \alpha \int_y^l (x-y) dx \right\}$$

Bild 6. Wegschleudern des Gussrings

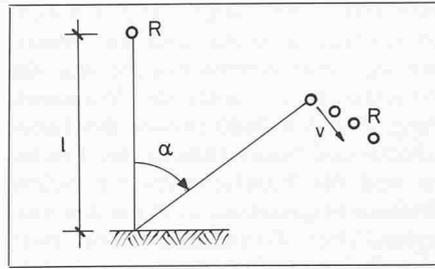


Bild 7. Geometrische Annahme für das Wegschleudern des Gussrings R

$$M(y) = \frac{G}{l} \left\{ \ddot{\alpha} \left(\frac{y^3}{6} - \frac{l^2}{2} y \right) + g \sin \alpha \left(ly - \frac{y^2}{2} \right) \right\} + \text{konst.}$$

$\ddot{\alpha}$ lässt sich mit Hilfe des Drehmoments bezüglich A bestimmen:

$$\begin{aligned} I \ddot{\alpha} &= G g \frac{l}{2} \sin \alpha \\ \ddot{\alpha} &= \frac{3 g \sin \alpha}{2 l} \end{aligned}$$

Das maximale Biegemoment liegt an jener Stelle y , wo folgende Bedingung erfüllt ist:

$$\frac{dM(y)}{dy} = 0$$

also $\frac{3y^2}{4l} - y - \frac{l}{4} = 0$

und $y = \frac{l}{3}$

Das grösste Moment, d.h. die Bruchstelle, wird also bei $l/3$ auftreten (Punkt B), was in der Praxis sehr oft beobachtet werden konnte. Weitere Bruchstellen werden im Kapitel über den Luftwiderstand erwähnt. Ebenfalls konnte man feststellen, dass sich die Länge vieler Kamine während des Sturzes (bedingt durch die Bruchstellen) verkürzt.

Abprungwinkel des obersten Kaminteils

Während der Sturzphase kann oft beobachtet werden, dass der Gussring vom Kaminkopf weggeschleudert wird (Bild 6). Die Gussringe werden durch die Sprengerschütterungen, die sich durch den Kamin hinauf fortpflanzen, vom Mauerwerk soweit gelockert, dass sie während des Fallens abspringen. Nachstehend wird der Abprungwinkel α berechnet, d.h. jener Neigungswinkel des Kamins, bei welchem der oberste Kaminteil weggeschleudert wird. Die Modellannahmen wurden gemäss Bild 7 getroffen.

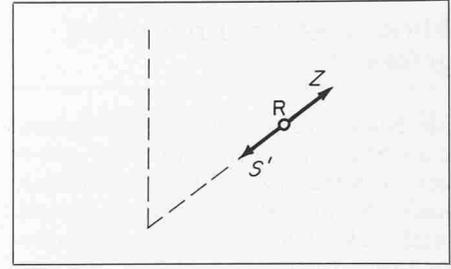


Bild 8. Annahme der am Gussring R wirkenden Kräfte

Dabei bedeuten:

- α = Abprungwinkel
- R_m = Masse des Gussrings
- v = Geschwindigkeit beim Absprung

Weiter wird angenommen, dass der Gussring im Moment der Sprengung ($\alpha = 0^\circ$) total vom Mauerwerk gelöst ist. Auf den Gussring R sind für den Absprung Kräfte gemäss Bild 8 massgebend. Dabei bedeuten:

- Z = Zentrifugalkraft
- S' = Anteil der Schwerkraft

Für diese Kräfte gilt

$$\begin{aligned} Z &= \frac{R_m v^2}{l} \\ S' &= R_m g \cos \alpha \end{aligned}$$

Damit der Gussring weggeschleudert wird, muss folgende Bedingung erfüllt werden:

$$\begin{aligned} Z &= S' \\ \frac{R_m v^2}{l} &= R_m g \cos \alpha \\ \cos \alpha &= \frac{v^2}{lg} \end{aligned}$$

Der Energiesatz liefert folgende Beziehung:

$$\begin{aligned} \frac{R_m v^2}{2} &= R_m g l (1 - \cos \alpha) \\ \frac{v^2}{lg} &= 2(1 - \cos \alpha) \end{aligned}$$

Daraus ergibt sich α zu

$$\begin{aligned} \cos \alpha &= 2(1 - \cos \alpha) \\ \cos \alpha &= \frac{2}{3} \text{ oder } \alpha = 48^\circ \end{aligned}$$

Der Abprungwinkel des obersten Kaminteils liegt bei 48° .

Auswirkung der Zentrifugalkraft

Bei der Sprengung eines Betonkamins löste sich während des Sturzes der obere Teil und flog während des Sturzes in der Verlängerung der Fallrichtung davon (Bild 9 und 10). Normalerweise kann dieses Phänomen nur bei Backsteinkaminsprengungen auftreten. Bei der Untersuchung einer Bruchstelle wurde jedoch folgendes festgestellt:

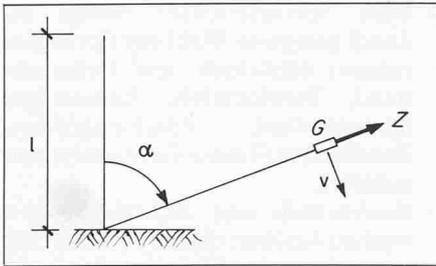


Bild 11. Modell für die Berechnung der Zentrifugalkraft Z

- die Betonieretappe war schlecht ausgeführt worden
- etwa die Hälfte der Armierungseisen war durchgerostet.

Nachträglich wurden folgende Kräfte berechnet (Modell gemäss Bild 11):

- G = Gewicht des abgesprungenen Kaminsteils
- Z = Zentrifugalkraft
- omega = Winkelgeschwindigkeit

Die Masse des abgesprungenen Kaminsteils betrug 40 t und der Absprungwinkel alpha etwa 70°. Daraus lässt sich die Zentrifugalkraft Z berechnen.

$$v = \sqrt{2gl(1 - \cos \alpha)} = \omega l$$

$$\omega = \frac{v}{l} = \frac{\sqrt{2gl(1 - \cos \alpha)}}{l}$$

$$Z = Gl\omega^2 = \frac{Gl \cdot 2gl(1 - \cos \alpha)}{l^2}$$

$$Z = 2Gg(1 - \cos \alpha) = 53 \text{ t}$$

Die Rückhaltekraft der Armierung, berechnet mit der Zugfestigkeit, betrug theoretisch 105 t. Da jedoch etwa 1/2 der Eisen durchgerostet waren, war die reduzierte Rückhaltekraft nur noch 50 t. Dies führte zum Absprung des oberen Teils, da in diesem Zeitpunkt die Zentrifugalkraft grösser war.

Einfluss des Luftwiderstandes

Die Praxis zeigt immer wieder, dass der Luftwiderstand beim Sturz eines Kamins einen grossen Einfluss auf die Bruchstellen ausübt. So brechen Backsteinkamine meistens in mehrere Teile (Bild 12 und vorangehende Photos). Es besteht sogar die Möglichkeit, dass ein Betonkamin während des Sturzes infolge des Luftwiderstandes zerbricht.

Schlussbemerkungen

Die erwähnten Beispiele haben gezeigt, dass es durchaus möglich ist, theoretische Betrachtungen für die Sturzphase eines Kamins anzustellen, welche dann auch durch die Praxis bestätigt werden. Sie gelten für die Methode der «Umlen-



Bild 9. Auswirkung der Zentrifugalkraft. Kamin im Zeitpunkt der Sprengung (Zementfabrik Untervaz)

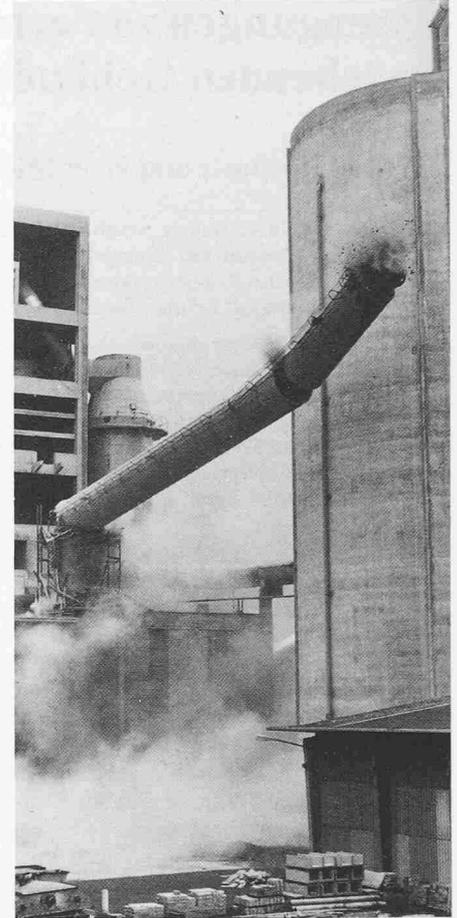


Bild 10. Auswirkung der Zentrifugalkraft. Loslösen des oberen Teils (Zementfabrik Untervaz)

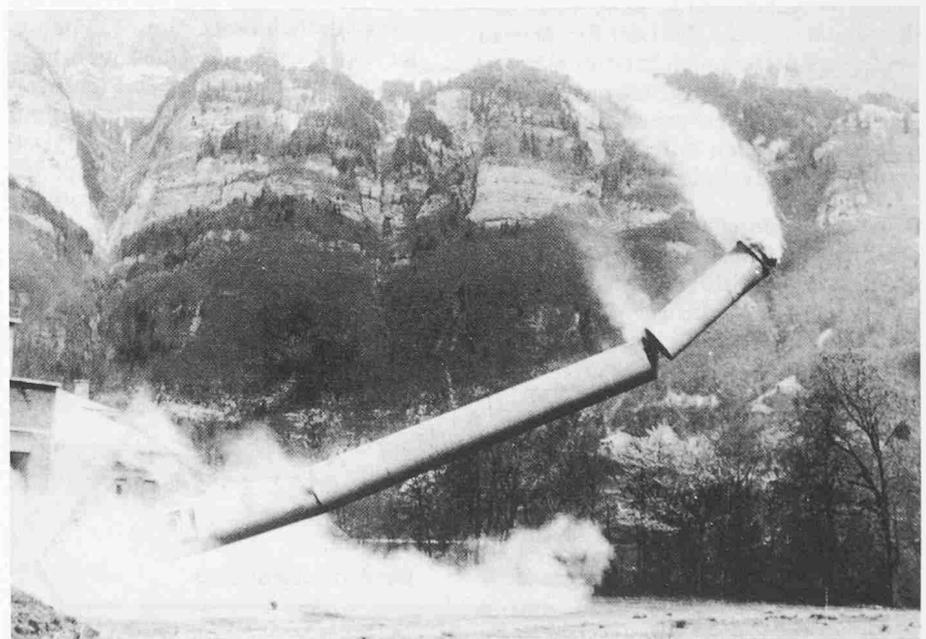


Bild 12. Bruch infolge Luftwiderstand (Zementfabrik Unterterzen)

«In-sich-Zusammenfallen», wo andere Gesichtspunkte ausschlaggebend sind.

- Viele Faktoren, wie z.B.
- Materialeigenschaften
 - Bauart
 - Luftwiderstand
 - Zustand des Kamins

sind in diese Berechnungen nicht einbezogen. Sie spielen aber für die praktische Durchführung einer Kaminsprengung eine wesentliche Rolle.

Adresse des Verfassers: A. Steiger, dipl. Ing. ETH/SIA, c/o GEFAS (Gesellschaft für angewandte Sprengtechnik AG), 8307 Effretikon.