Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt

Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine

Band: 101 (1983)

Heft: 17

Artikel: Kaminsprengungen: Beispiele zur Übereinstimmung von Theorie und Praxis

Autor: Steiger, Alfred

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-75123

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 25.12.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

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

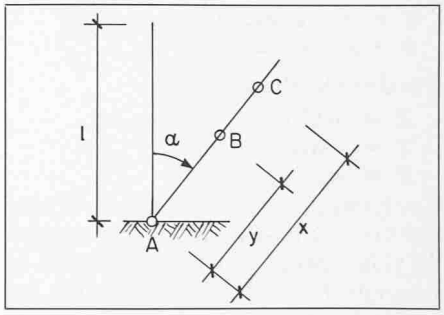


Bild 4. Geometrisches Modell für die Berechnung des Knickpunkts B

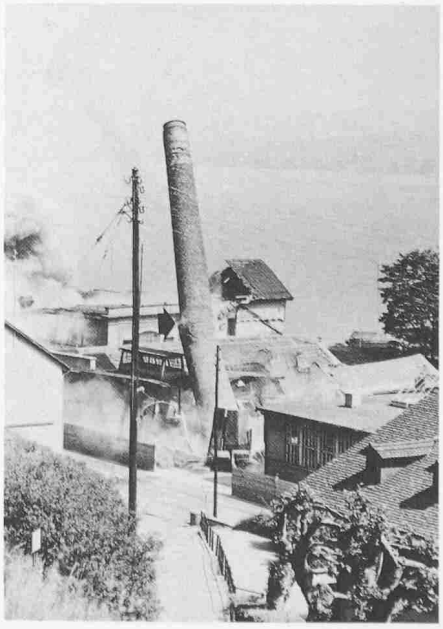
Dabei bedeuten:

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)



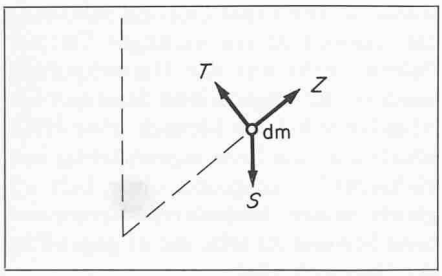


Bild 5. Annahme der am Massenelement dm wirkenden Kräfte

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

$$Z = m\dot{\alpha}^2 x$$
$$T = -m\ddot{\alpha}\,x$$
$$S = mg$$

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

$$dK = dm\,g\sin\alpha - dm\,x\ddot{\alpha}$$

$$dK = \frac{G}{l}\,dx\,g\sin\alpha - \frac{G}{l}\,dx\;x\ddot{\alpha}$$

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

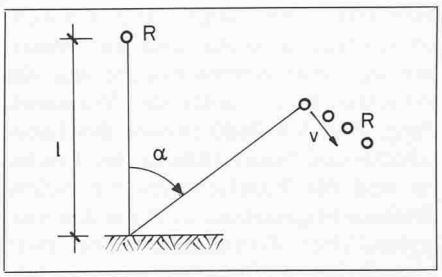


Bild 7. Geometrische Annahme für das Wegschleudern des Gussrings R

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

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

$$I\ddot{\alpha} = G\,g\,\frac{l}{2}\sin\alpha$$

$$\ddot{\alpha} = \frac{3\,g\sin\alpha}{2\,l}$$

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

$$\frac{d\,M(y)}{dy} = 0$$

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

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.

Absprungwinkel des obersten Kaminteiles

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 Absprungwinkel α berechnet, d.h. jener Neigungswinkel des Kamins, bei welchem der oberste Kaminteil weggeschleudert wird. Die Modellannahmen wurden gemäss Bild 7 getroffen.

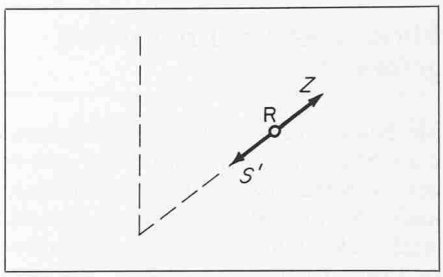


Bild 8. Annahme der am Gussring R wirkenden Kräfte

Dabei bedeuten:

α = Absprungwinkel
R_m = Masse des Gussrings
v = Geschwindigkeit beim Absprung

Weiter wird angenommen, dass der Gussring im Moment der Sprengung (α = 0°) 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

$$Z = \frac{R_m v^2}{l}$$

$$S' = R_m\,g\,\cos\alpha$$

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

$$Z = S'$$

$$\frac{R_m v^2}{l} = R_m\,g\,\cos\alpha$$

$$\cos\alpha = \frac{v^2}{l\,g}$$

Der Energiesatz liefert folgende Beziehung:

$$\frac{R_m v^2}{2} = R_m\,g\,l\,(1-\cos\alpha)$$

$$\frac{v^2}{l\,g} = 2\,(1-\cos\alpha)$$

Daraus ergibt sich α zu

$$\cos\alpha = 2\,(1-\cos\alpha)$$

$$\cos\alpha = \frac{2}{3} \text{ oder } \alpha \simeq 48°$$

Der Absprungwinkel 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:

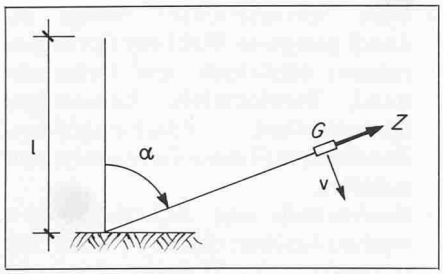


Bild 11. Modell für die Berechnung der Zentrifugalkraft Z

- 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 Kaminteils
Z = Zentrifugalkraft
ω = Winkelgeschwindigkeit

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

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

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

$$Z = G\,l\,\omega^2 = \frac{G\,l\,2\,g\,l\,(1-\cos\alpha)}{l^2}$$

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

Die Rückhaltekraft der Armierung, berechnet mit der Zugfestigkeit, betrug theoretisch 105 t. Da jedoch etwa ½ 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.

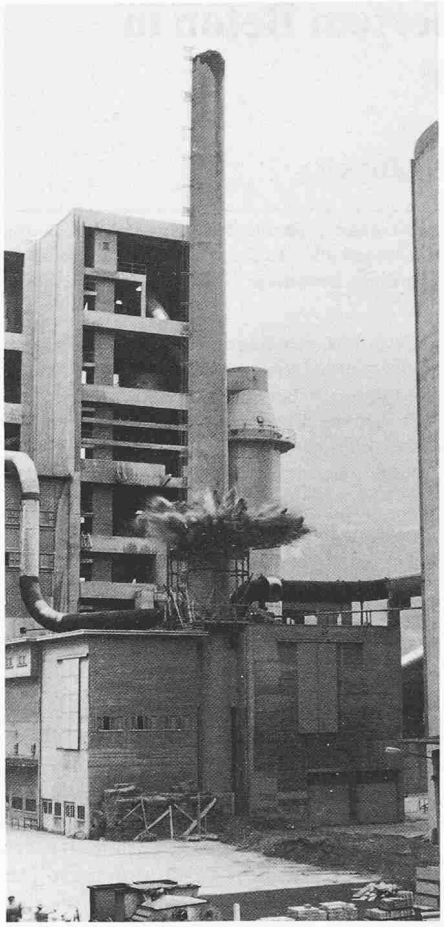


Bild 9. Auswirkung der Zentrifugalkraft. Kamin im Zeitpunkt der Sprengung (Zementfabrik Untervaz)

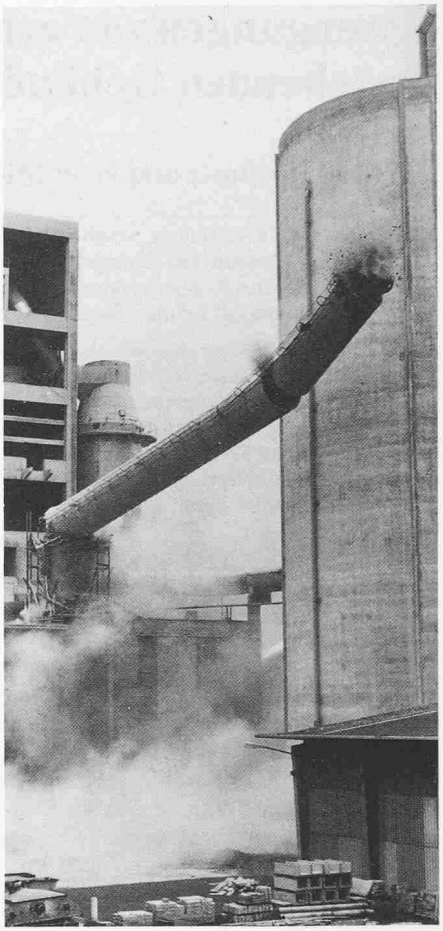


Bild 10. Auswirkung der Zentrifugalkraft. Loslösen des oberen Teils (Zementfabrik Untervaz)

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 Luftwiderstands zerbricht.

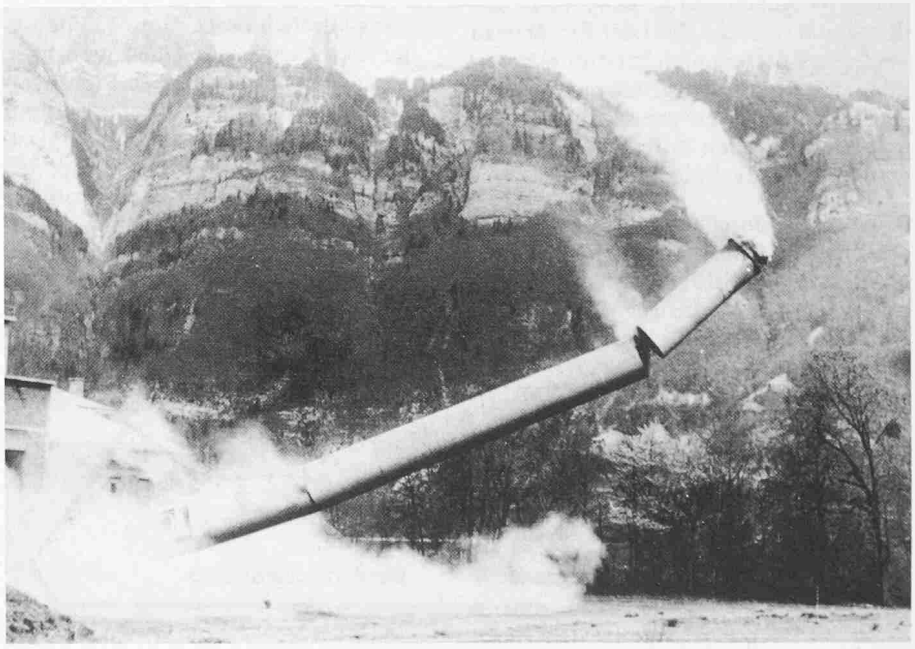


Bild 12. Bruch infolge Luftwiderstand (Zementfabrik Unterterzen)

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 «Umlegung» im Gegensatz zur Methode «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.