

**Zeitschrift:** Schweizerische Bauzeitung  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 93 (1975)  
**Heft:** 49

**Artikel:** Berechnungsmethode für die statische Ersatzlast beim freien Fall des Gegengewichtes oder der Kabine eines Kleinwarenaufzuges  
**Autor:** Meier, Willhelm  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-72885>

### **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:** 22.02.2026

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

## Berechnungsmethode für die statische Ersatzlast beim freien Fall des Gegengewichtes oder der Kabine eines Kleinwarenaufzuges

Von W. Meier, Zürich

DK 531.2:69.026.6

### Einleitung

Für Kleinwarenaufzüge, bei denen der Schachtboden Teil einer Geschosdecke ist, muss der Nachweis erbracht werden, dass das abstürzende Gegengewicht oder die abstürzende Kabine diese Decke nicht durchschlagen und sich darunter befindende Personen nicht gefährden kann. Obwohl der Katastrophenfall Seilriss wegen der erforderlichen zwölffachen Sicherheit der Stahldrahtseile sehr selten ist, ist die aufgeführte Forderung an das Bauwerk sinnvoll.

Der Nachweis wird in den meisten Fällen erst im Zusammenhang mit der Abnahme der bereits montierten Aufzugsanlage vom Hersteller beim Bauingenieur eingeholt. Der Statiker kann die Daten des Konstrukteurs, die Abmessungen, das Gewicht und die maximale Fallhöhe des Gegengewichtes nicht unmittelbar in seinem Nachweis verwenden. Er braucht statische Ersatzlasten mit ihren Aufsitzflächen. Seine Berechnungen sollten eigentlich viel früher ausgeführt werden, handelt es sich doch um *Bemessungen* auf rechnerisch erfassbare, aussergewöhnliche Einwirkungen gemäss Artikel 10.02 der Norm SIA 162.

Der vorliegende Beitrag, der sich sowohl an den Aufzugs-konstrukteur als auch an den Statiker des Bauwerkes richtet, beschreibt einen einfachen Weg, wie aus der Fallenergie die fehlende statische Ersatzkraft gewonnen werden kann. Der Einbau von Stossdämpfern aus weicherem Material, deren Bemessung hier besprochen wird, ist für Personen- und Waren-aufzüge bereits in Artikel 27.3 der Norm SIA 106 für Aufzüge vorgeschrieben, zusätzlich zu den weitergehenden Massnahmen, mit denen eine Gefährdung von Personen verhindert wird: Untermauerung bis auf den gewachsenen Boden oder

Fangvorrichtung auch für das Gegengewicht (die Kabinen müssen ohnehin eine Fangvorrichtung besitzen). Die Fallenergie wird dort also entweder zum vornherein beschränkt oder als Energie einer *Druckwelle* auf eine grosse Masse abgegeben. Die statische Ersatzlast muss nicht bestimmt werden, die Wirksamkeit der Aufprallblöcke wird also rechnerisch nicht ermittelt. Eine kurze Überprüfung der auftretenden Kräfte, wie hier vorgeschlagen wird, ist aber empfehlenswert.

### Das Bauwerk als starre Unterlage

Häufig wird zu wenig bedacht, dass das Bauwerk, seiner Bestimmung gemäss, nur sehr kleine Deformationen ausführen kann und nur für mittlere Belastungen (z. B. 0,3 bis 1,5 Mp/m<sup>2</sup>) bemessen ist. Beim Aufprall einer grösseren Masse auf das ungeschützte Bauwerk werden, wegen des geringen Federweges, sehr hohe örtliche Druckkräfte erzeugt. Rund um die Aufprallstelle treten *grosse Schubkräfte* auf, die häufig zum Versagen der Decke infolge Durchstanzen führen: Die Masse durchschlägt die Decke und fällt zusammen mit einem herausgestanzten Deckenstück mit einer Restgeschwindigkeit in den darunterliegenden Raum. In jedem Fall pflanzt sich der harte Schlag durch das ganze Gebäude fort und kann noch in entfernten Bauteilen Risse auslösen.

Die geringe Fallenergie, die das Bauwerk ohne grössere Schäden aufnehmen kann, wird in der Folge vernachlässigt; das Bauwerk wird als starre Unterlage betrachtet. Ebenso wird das Gegengewicht vorerst als starrer Körper angenommen; in einem Zahlenbeispiel wird später abgeschätzt, welcher Prozentsatz der Energie im Gegengewicht selbst in Deformationsarbeit und letztlich in Wärme umgesetzt wird.

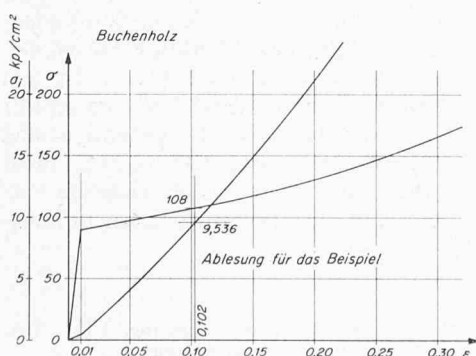
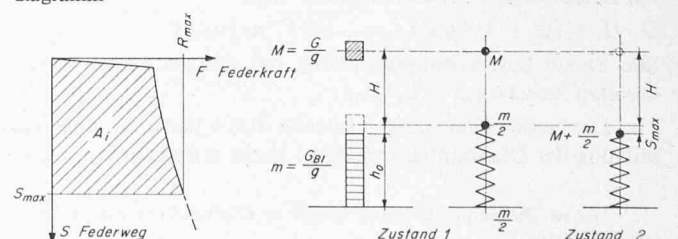


Bild 1 (links). Diagramm der Spannungen und der spezifischen Deformationsarbeit als Funktion der Dehnungen

Bild 2. Modell des Einmassenschwingers und dazugehöriges Federdiagramm



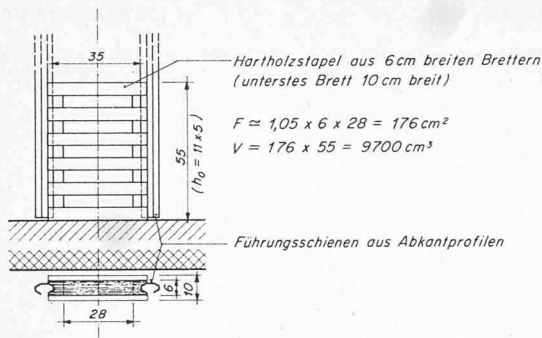


Bild 3. Aufprallblock unter dem Gegengewicht eines Aktenaufzuges (ausgeführtes Beispiel)

### Bemessung eines Aufprallblockes aus weicherem Material

Zur Aufnahme der Fallenergie kann ein Aufprallblock aus weichem Material angeordnet werden, wobei ein Minimalvolumen notwendig ist. Mit der Annahme einer starren Unterlage und einem starren Fallgewicht ist man bei der Bemessung dieses Volumens auf der sicheren Seite. Das Material des Aufprallklotzes – in der Folge auch Feder bezeichnet – ist durch das spezifische Gewicht und das Spannungs-Dehnungsdiagramm, das sich bis zum Bruch, bzw. bis in den Bereich der Wiederverfestigung erstrecken soll, beschrieben. In Bild 1 ist, als Beispiel, das Spannungs-Dehnungsdiagramm für Buchenholz aufgezeichnet<sup>1)</sup>. Im gleichen Diagramm ist auch die Funktion  $a_i = \int_0^{\epsilon} d\epsilon$  in Abhängigkeit von der Dehnung aufgetragen. Die Grösse  $a_i$  kann als spezifische (d. h. auf die Volumeneinheit bezogene) Deformationsarbeit bei der Steigerung der Spannung von 0 auf  $\sigma_{max}$  gedeutet werden.

Mit angenommenen Abmessungen des Aufprallklotzes kann nun das Federdiagramm für das einfache Modell des Einmassenschwingers aufgezeichnet werden (Bild 2). Da in solchen Fällen die Federn fast masselos, die Eigenschwingungszeiten demnach extrem kurz und immer noch viel kleiner als die Belastungsdauer sind, können die Trägheitskräfte im Block vernachlässigt werden. Das Federdiagramm verläuft darum ähnlich zum Spannungs-Dehnungsdiagramm; zwischen den beiden Aufzeichnungen bestehen folgende Beziehungen:

für den Federweg:  $s = h_0 \cdot \epsilon$

für die Federkraft:  $F = R(s) = F_{B1} \cdot \sigma(\epsilon)$   
 $F_{B1} = \text{Grundrissfläche}$

für die innere Arbeit:  $A_i = \int_0^s R \cdot ds = \int_0^{\epsilon} F_{B1} \cdot h_0 \cdot \sigma(\epsilon) \cdot d\epsilon = V \cdot a_i$ ;  $V = \text{Blockvolumen}$

Die maximale Einfederung  $s_{max}$  lässt sich mit dem Energiesatz zwischen dem Sichloslösen des Fallgewichtes (Zustand 1,  $v_1 = 0$  für Fallgewicht und Federmasse) und dem Stillstand bei  $s_{max}$  (Zustand 2,  $v_2 = 0$ ) berechnen.

$$\text{Der Energiesatz } \frac{M}{2} (V_2^2 - V_1^2) = 0 = \int_1^2 K \cdot ds \quad \text{ergibt}$$

die Beziehung zwischen  $s_{max}$  und  $\epsilon_{max}$ :

$$G \cdot H + (G + 1/2 G_{B1}) \cdot s_{max} = V \cdot a_i(\epsilon_{max})$$

Die zweite Bestimmungsgleichung mit den genannten Unbekannten heisst  $s_{max} = h_0 \cdot \epsilon_{max}$ .

Die beiden Gleichungen können durch Iteration unter Benützung der Diagramme von Bild 1 leicht gelöst werden. Da in

den meisten Fällen  $G \cdot H \gg (G + 1/2 G_{B1}) s_{max}$ , konvergiert die Iteration sehr rasch. In vielen Fällen genügt schon die erste Näherungslösung:

$$a_{i1} = \frac{G \cdot H}{V} \rightarrow \text{Diagramm: } s_{max} = h_0 \cdot \epsilon_1; R_{max} = F_{B1} \cdot \sigma_1$$

(allenfalls 2. Näherungslösung:

$$a_{i2} = \frac{G \cdot H + s_{max1} (G + 1/2 G_{B1})}{V}$$

### Berechnungsbeispiel

Aufprallblock unter dem Gegengewicht aus Stahl eines Aktenliftes. Gegengewicht aus Stahl:  $28 \times 5 \times 90$  cm,  $G = 100$  kp,  $H = 9,25$  m. Mit den Abmessungen, die in Bild 3 ersichtlich sind, können die weiteren Grössen bestimmt werden:

$$a_{i1} = (100 \cdot 925/9700) = 9,536 \text{ kp/cm}^2 \rightarrow \text{Ablesungen in Bild 1: } \sigma = 108 \text{ kp/cm}^2, \epsilon = 0,102$$

$$\text{statische Ersatzlast: } R_{max} = 176 \cdot 108 = 19000 \text{ kp} = 190 G!$$

$$\text{maximale Stauchung: } s_{max} = 55 \cdot 0,102 = 5,6 \text{ cm}$$

Eine zweite Ablesung in Bild 1 ist hier nicht erforderlich, da der relative Fehler von  $a_{i1}$  kleiner als die Ablesegenauigkeit ist (rel. Fehler von  $a_{i1}$ :  $\sim 0,006$ ).

Zur Erhärtung der Annahmen wird hier noch der prozentuale Anteil der Fallenergie geschätzt, der im Gegengewicht selbst in Wärme umgesetzt wird. Stahlspannung in der untersten Schicht des Gegengewichtes:  $\sigma_{e max} = 136 \text{ kp/cm}^2$ . Diese Spannung wird durch Trägheitskräfte linear auf 0 in der obersten Schicht reduziert.

Innere Arbeit im Stahlkörper:  $A_i = (136 \cdot 90 \cdot 19000 / 2 \cdot 2100000) = 55,4 \text{ kp cm}$ ; prozentualer Anteil an der Gesamtenergie:  $(55,4/92500) = 0,0006 = 0,06\%$

Die Aufprallblöcke müssen aus naheliegenden Gründen ortsfest ausgeführt werden. Holzstapel unter Gegengewichten werden mit Vorteil zwischen die Führungsschienen, die über dem Schachtboden mit kleinerem Abstand in den Schachtwänden verankert werden, eingepasst, wie Bild 3 zeigt. Für freistehende Blöcke mit quadratischer Grundrissfläche zur Abfederung von Aktenliftkabinen sollen die Hölzer mit wechselndem Faserverlauf gut miteinander verschraubt werden.

### Schlussbemerkung

Weiche Federn an der Aufprallstelle bewirken, dass nur ein sehr geringer Teil der Fallenergie im Katastrophenfall ins Bauwerk eingeleitet wird und dass die maximalen Druckkräfte und vor allem die Scherkräfte rund um die Aufprallstelle stark verringert werden. Blöcke aus weichem plastischem Material, das bei der einmaligen Beanspruchung zerstört wird, eignen sich gut als solche Federn und sind sehr einfach zu bemessen und herzustellen. Aus Bild 1 ist ersichtlich, dass hier das plastische Verhalten bis zum Bruch oder bis zum Beginn einer Wiederverfestigung in den Vordergrund der Interessen tritt. Es wird hier angeregt, dass verschiedene Werkstoffe, wie Holz, Kork, allenfalls Styropor (Zellenstruktur), Gummi (aus Kettenmolekülen), aber auch Blei (geeigneter Werkstoff für die Gegengewichte) durch einfache statische Druckversuche bis zum Bruch oder bis zum Beginn einer Wiederverfestigung geprüft werden, und dass für diese Materialien Diagramme analog Bild 1 für die Liftkonstrukteure bereitgestellt werden. Durch zusätzliche Fallversuche könnte das etwas abweichende Verhalten dieser Werkstoffe bei grosser Deformationsgeschwindigkeit untersucht werden.

<sup>1)</sup> Aus Diagrammen von E. Gaber in «Technologie des Holzes», von Kollmann.

Adresse des Verfassers: Wilhelm Meier, dipl. Ing. ETH, SIA, Ingenieurbüro R. Henauer, Thuyastrasse 6, 8038 Zürich.