

**Zeitschrift:** Schweizer Ingenieur und Architekt  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 105 (1987)  
**Heft:** 51-52

**Artikel:** 1. Zum Beispiel der Bumerang  
**Autor:** Bürger, Wolfgang  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-76780>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **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. [Voir Informations légales.](#)

### **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. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 16.03.2025

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

**Literatur**

- [1] Ad-hoc-Studiengruppe für Schadenfälle an Brückenbrüstungen: 1.-4. Zwischenbericht von 1978, 1979, 1982 und 1986, Institut für Baustoffe, Werkstoffchemie und Korrosion ETH Zürich
- [2] *Basler, K.*: Ausbildungsüberprüfung im Bereich des Hochbaues, Postulat an den Schweizerischen Schulrat vom 2. April 1987
- [3] B 3 Oberflächenschutz von Stahlkonstruktionen, Empfehlungen der TK-SZS, Schweizerische Zentralstelle für Stahlbau 1982
- [4] *Czernin, W.*: Zementchemie für Bauingenieure, Bauverlag GmbH Wiesbaden + Berlin 1977
- [5] *Elsener, B.*, und *Böhni, H.*: Elektrochemische Untersuchungen der Korrosion von Armierungsstahl in Beton. Schweizer Ingenieur und Architekt Heft 14, 1984, S. 264-269
- [6] *Frey, R.*: Einwirkung von Streusalzen auf Beton unter gezielt praxisnahen Bedingungen, Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Heft 384, Berlin 1987
- [7] *Hensel, W.*: Chemische Reaktionen von Atmosphärien mit zementgebundenen Baustoffen, Betonwerk + Fertigteiltechnik, Heft 11 1985, S. 714-721
- [8] *Lüthi, P.*: Ganzheitliches Denken - eine Lösung unserer Probleme? Schweizer Ingenieur und Architekt Heft 14, 1987, S. 119ff.
- [9] *Nürnberg, U.*: Chloridkorrosion von Stahl in Beton Teil I und II, Betonwerk + Fertigteiltechnik, Heft 9 und 10, 1984
- [10] *Rösli, A.*, und Mitarbeiter: Frost- und Tausalzbeständigkeit von Beton, Forschungsprojekt 9/78, Eidg. Dep. des Innern, Schlussbericht März 1983
- [11] *Schiessl, P.*: CEB-Working Guide for Durable Concrete Structures, Part 1, Protection of reinforcement, CEB-Rilem International Workshop, May 1983, Copenhagen
- [12] *Schröder, F.* et al.: Einfluss von Luftkohlenensäure und Feuchtigkeit auf die Beschaffenheit des Betons als Korrosionsschutz für Stahleinlagen, Deutscher Ausschuss für Stahlbeton Heft 182, Berlin 1967
- [13] *Stocker, W.*: Entscheidungshilfen bei Beschichtungen, Schweizer Baublatt, Heft Nr. 4 1987
- [14] *Weber, J.*: Die Karbonatisierung des Betons und deren Einfluss auf die Betonbeständigkeit, Strasse und Verkehr Nr. 4 1987
- [15] *Witmann, F.*: Gefüge und Beständigkeit des Betons, Dokumentation des SIA Nr. 72: Beständigkeit des Stahlbetons, Zürich 1984, S. 7-12

keit der Sanierung haben kann. Unter diesem Blickwinkel muss noch abgeklärt werden, ob die Kontrollflächen besser an durchschnittlichen oder an extremen Stellen, ob sie besser zufällig oder geplant angelegt werden sollen. Dabei muss unbedingt die Frage der Garantieleistung berücksichtigt werden.

**Schlussbemerkung**

Die Lage auf dem Betonsanierungsmarkt ist sehr unübersichtlich. Dies kann unter anderem daherrühren, dass zwar viele Beteiligte viel unternehmen, aber meist zu wenig von den Bemühungen anderer wissen. Deshalb stellt dieser Artikel neben der Arbeit einer schon 10 Jahre auf diesem Gebiet tätigen Studiengruppe auch die wichtigsten Aspekte eines Forschungsprojektes vor, obwohl dieses bei weitem noch nicht abgeschlossen ist. Wir hoffen, damit einen kleinen Schritt zur Klärung der Situation zu tun.

Adressen der Verfasser: *D. Flückiger*, dipl. Ing. ETH, Institut für Baustoffe, Werkstoffchemie und Korrosion, ETH-Hönggerberg, 8093 Zürich, und *W. Studer*, dipl. Ing. ETH, Vorsitzender der Ad-hoc-Studiengruppe für Schadenfälle an Brückenbrüstungen, c/o EMPA, 8600 Dübendorf.

Die Anordnung der Kontrollflächen ist von zentraler Bedeutung. Ein geschicktes Vorgehen kann einen aktiven Beitrag zur Erhöhung der Qualität der

Ausführung liefern. Andererseits ergeben sich einige Probleme daraus, dass der Beton einen nicht zu vernachlässigenden Einfluss auf die Dauerhaftig-

**Physikalische Spielzeuge stellen Fragen****1. Zum Beispiel der Bumerang**

Von Wolfgang Bürger, Karlsruhe

Prof. Dr. W. Bürger ist seit 1975 Leiter des Instituts für Theoretische Mechanik der Universität Karlsruhe. Sein wissenschaftliches Arbeitsgebiet ist die Mechanik und Thermodynamik der Kontinua und - neuerdings - die Theorie physikalischer Spielzeuge.

**Wer erfand den Bumerang?**

«War einmal ein Bumerang; war ein wenig zu lang. Bumerang flog ein Stück, aber kam nicht mehr zurück. Publikum - noch stundenlang - wartete auf Bumerang», reimte *Hans Böttcher*, der sich *Joachim Ringelnatz* nannte.

Doch der Meister irrte: An der Länge kann es nicht gelegen haben. Alle möglichen krummen Hölzer mit tragflächenartigen Armen kehren zum Werfer zurück, wenn sie vorschriftsmässig geworfen werden und der Wind nicht zu heftig mit ihnen spielt. Bei den Ureinwohnern Australiens, den Aborigines, sind allerdings auch Wurfhölzer im Gebrauch, die nicht zurückkommen. Es sind schwere Hölzer für die

Jagd, deren Tragflächen den Zweck haben, den Flugweg bis zu 100 m und mehr zu verlängern.

Entgegen einem verbreiteten Vorurteil ist Australien nicht die einzige Wiege des Bumerangs. Archäologische Funde machen es wahrscheinlich, dass auch die steinzeitlichen Kulturen Europas, Asiens und Nordamerikas fliegende Wurfhölzer kannten.

Die Wissenschaft wurde früh auf die Flugeigenschaften der Bumerangs aufmerksam, die deshalb schon in den Anfängen der Aerodynamik Beachtung fanden.

**Kreuzbumerangs**

Bumerangs sind - etwas drastisch defi-

niert - eine Kreuzung von Hubschrauber und Kreisel. Luftkräfte an den Tragflächen, die den Bumerang aus seiner Lage zu bringen suchen, wecken «Kreiselkräfte», mit denen er sich solchem Zwange widersetzt. Das Wechselspiel beider macht den erstaunlichen Flug des Bumerangs möglich: die Präzession eines Kreisels wird zum Wendemanöver in der Luft. Typische Rückkehrbumerangs, wie die Australier sie aus Hartholz schnitzen, haben zwei ungefähr gleich lange Flügel, die einen stumpfen Winkel einschliessen. Sie fliegen weite Bögen mit über 50 m Durchmesser, die Flugbahnen sind wellig, weil das gekrümmte Flugholz seinen ausserhalb des Körpers liegenden Schwerpunkt umkreist.

Vierflügelige «Kreuzbumerangs» sind die Ausnahme. Das Science Museum in St. Paul, Minnesota, zeigt Bumerangs aus Nordostaustralien, deren gekreuzte Flügel kunstvoll mit Lederschnüren verbunden sind. Was der moderne Mensch leicht mit Klebstoff fertigbringt, zwei Hölzer über Kreuz fest zu verbinden, stellte die Steinzeitmenschen vor eine schwierige Aufgabe.



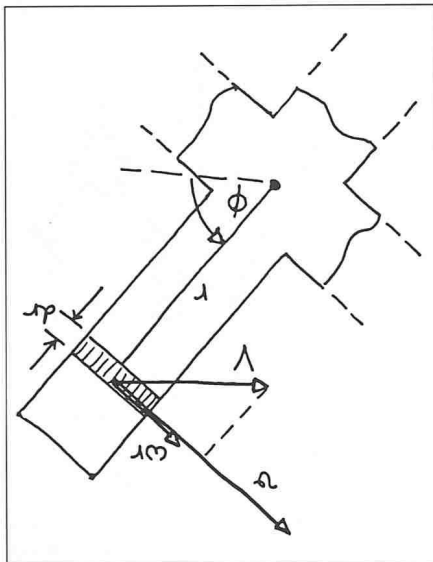
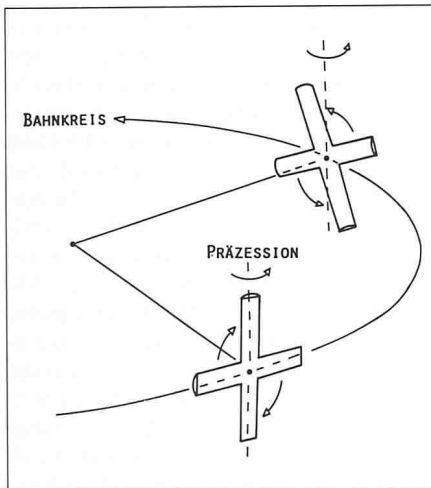


Bild 2. Luftkräfte am Flügelement

Bild 3. Präzession und Bahnkreis des schwerelosen Kreuzbumerangs



ten angeströmt wird (ob  $v > 0$  oder  $v < 0$  ist). Man nimmt an, dass die Auftriebskraft von der Geschwindigkeit quadratisch abhängt und ihr Beitrag pro Längeneinheit des Flügels

$$d\vec{A}/dr = cv^2 \vec{e}_1$$

ist, wobei  $c$  ein für den Flügelquerschnitt (das sog. Profil) charakteristischer Auftriebsbeiwert ist. Integration über die Flügellänge  $l$  und Summierung über die vier Flügel, die im betrachteten Augenblick unter Winkeln  $\varphi$ ,  $\varphi + \pi/2$ ,  $\varphi + \pi$  und  $\varphi + 3\pi/2$  stehen, liefert die resultierende Auftriebskraft auf den Bumerang:

$$\vec{A} = 4cl \left( \frac{\omega^2 l^2}{3} + \frac{V^2}{2} \right) \vec{e}_1$$

Sie ist infolge der Symmetrie des Bumerangs vom Winkel  $\varphi$  unabhängig. In entsprechender Weise integriert und summiert man das Drehmoment pro Längeneinheit,  $\vec{r} \times d\vec{A}/dr$ , zum resultierenden Drehmoment auf den Bumerang:

$$\vec{M} = \frac{4}{3} cV\omega l^3 \vec{e}_2$$

Beim Flug mit konstanter Bahngeschwindigkeit  $V$  bewirkt die Auftriebskraft nur eine Zentripetalbeschleunigung senkrecht zum Vektor  $\vec{V}$ , und die Impulsbilanz reduziert sich zu  $m(V^2/R)\vec{e}_1 = \vec{A}$  oder

$$\frac{mV^2}{R} = 4cl \left( \frac{\omega^2 l^2}{3} + \frac{V^2}{2} \right)$$

( $m$  Masse des Bumerangs,  $R$  Krümmungsradius der Bahn). Das Trägheitsmoment eines schlanken Flügels der Länge  $l$  um das Zentrum des Bumerangs als Drehachse ist  $ml^2/12$ , der

Drehimpuls des ganzen Bumerangs daher  $\vec{D} = (ml^2/3)\vec{\omega}$ . Bei stationärer Präzession besteht die Änderung des Drehimpulses nur in der Drehung des Vektors  $\vec{D}$  mit der Winkelgeschwindigkeit  $\vec{\omega}_p$ , die Drehimpulsbilanz reduziert sich daher auf  $\vec{\omega}_p \times \vec{D} = \vec{M}$  oder

$$\omega_p = \frac{4cV}{m}$$

Bei der Formulierung der Gleichungen wurde postuliert, dass der Bumerang einen stationären Kreisflug ausführt. Damit diese A-priori-Annahme erfüllt ist, müssen Impuls- und Drehimpulsbilanz miteinander verträglich sein, das heisst, der Bumerang muss sich so drehen, dass seine Flügelsebene in jedem Augenblick den Bahnkreis berührt oder die Schliessungsbedingung

$$\frac{V}{R} = \omega_p$$

erfüllt ist. Aus der Drehimpulsgleichung folgt damit der Radius der Kreisbahn

$$R = \frac{m}{4cl}$$

Er ist im Rahmen dieser einfachen Theorie eine Eigenschaft des Bumerangs und nicht von der Geschwindigkeit beim Abwurf abhängig. Die Impulsgleichung liefert darüber hinaus die Abwurfbedingung

$$V = (2/3)^{1/2} \omega l$$

Der Vorfaktor unterscheidet sich nur wenig von Eins. Damit der gewichtslose Bumerang einen Kreis fliegt, muss man ihn so abwerfen, als wolle man ihn über den Boden rollen.

## 2. Die Sozialismus-Maschine

Im Kapitalismus beutet der Mensch den Menschen aus, im Sozialismus ist es umgekehrt - schrieb ein Leipziger Schüler in seinem Deutschaufsatz. Der Wunsch, mühelos nach oben zu kommen und auf Kosten anderer zu leben, ist nur allzumenschlich und wird in jedem politischen System angetroffen, Parteigänger hier - Geschäftemacher dort. Der ideale Tummelplatz für Drückeberger ist überall, wo Leistung sich nicht auszahlt. Der Traum der Müssiggänger und Faulpelze - in unserer Maschine ist er verwirklicht. Nehmen Sie Platz und machen Sie sich's bequem!

### Modell des Lastenaufzugs

Wir brauchen nichts als einen einfachen Lastenaufzug: eine Rolle mit Seil. An den beiden Seilenden bringen wir runde Holzscheiben als Sitze an, auf denen Herr Links und Herr Rechts (so möchte ich sie der Kürze halber nennen) sich niederlassen können. Zuerst muss das Gleichgewicht hergestellt werden, damit das Seil sich nicht zur Seite des Schwereren von beiden hin abwickelt. Das geht sehr einfach mit einem Beutel voll Sand. Sollte doch ein

kleiner Gewichtsunterschied zwischen links und rechts geblieben sein - immerhin wiegt ein grosses Sandkorn etwa 10 Milligramm - hält ein bisschen Reibung im Lager der Rolle (die bei der Bewegung überhaupt nicht ins Gewicht fällt) den Ruhezustand aufrecht. Stellen wir uns nun vor, dass die beiden plötzlich auf die Idee kommen, um die Wette am Seil hochzuklettern! Solche Ideen entstehen manchmal aus dem Augenblick, und man weiss nicht, woher sie kommen. Ich habe selbst erlebt, wie eine Gruppe seriöser Professoren, würdige Herren aus Deutschland und Italien, die ein Kongress in Genua zusammenggeführt hatte und die vor dem Abendessen noch ein wenig in den alten Treppenstrassen promenierten, plötzlich, wie auf ein Kommando, als