

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 96 (1978)
Heft: 37

Artikel: Strahlenschäden entlarven Antiquitätenfälscher: Datierung und Echtheitsprüfung mit Hilfe der Thermolumineszenz
Autor: Gerwin, Robert
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-73744>

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: 05.04.2026

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

Viele Dinge haben also Einfluss auf das Fließverhalten von Zementleim, wie z.B.

- die Feststoffkonzentration der Suspension,
- die Korngrößenverteilung und Kornform des Zementes
- der Gehalt und die Zustandsform des Kalziumsulfats,
- das Alter des Zementleims (Hydratation),
- die Mischdauer und der Bereitungsgrad der Suspension,
- die chemische Zusammensetzung des Zementes,
- die Eigenschaften des Anmachwassers und
- die Temperatur.

Trotz der erheblichen versuchstechnischen Schwierigkeiten ist es mit gewissen Streuungen möglich, bestimmte Fließkurven von Zementsuspensionen zu ermitteln (siehe Bild). Dabei tritt strukturviskoses und dilatantes Fließverhalten auf. Ausserdem spielen zeitabhängige rheologische Eigenschaften eine Rolle, wie Thixotropie und Rheopexie. Danach ist es möglich, den Einfluss der Baustoffeigenschaften Feststoffkonzentration und spezifische Oberfläche des Feststoffes auf die rheologischen Eigenschaften Fließgrenze und Anfangsviskosität zu bestimmen und damit auch für Zementsuspensionen eine Fließgleichung abzuleiten, die Zementinjektionen berechenbar zu machen.

Schrifttum

- [1] Wischers G.: «Faserbewehrter Beton». Beton, Heft 4, 1974
- [2] Brux G.: «Faserbewehrter Beton». Schweiz. Bauzeitung, Heft 3, 1974
- [3] Komlos K.: «Faserbewehrter Beton». Tiefbau, Heft 4, 1973
- [4] Swamy R.N.: «Fibre reinforcement of cement and concrete». Materials and Structures, Heft 45, 1975
- [5] Jejcic D., Zanghellini F.: «Mortiers et ciments armés de fibres». Annales de l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics. Heft 347, 1977
- [6] Hilsdorf H.K.: «Zementgebundene Matrix und Faserbewehrung». Der Heidelberger Portländer, Heft 2, 1975
- [7] Merkblatt *Stahlfaserspritzbeton*. Beton, Heft 2, 1977
- [8] Swamy R.N., Fattuhi N.I.: «Mechanics and properties of steel fibre reinforced concrete». Proceedings of the First Australian Conference on Engineering Materials, Sydney, August 1974, University of Sydney
- [9] Swamy R.N., Savrides H.: «Some properties of high workability steel fibre concrete». Fibre reinforced cement and concrete. RILEM Symposium, London, 1975
- [10] Majumdar A.J.: «Properties of fibre cement composites». Fibre reinforced cement and concrete. RILEM Symposium, London, 1975
- [11] Edgington J., Hannant D.J., Williams R.I.T.: «Steel fibre reinforced concrete». Garston, Building Research Establishment, Current Paper CP 69/74
- [12] Komloš K.: «Possibilities of workability determination of fibre concrete mixes according ČSN 731312». Československá standardizace, Heft 3, 1976
- [13] Komloš K.: «State-of-the-art report on concrete reinforced with randomly spaced fibres». Stavebnický časopis, Heft 4, 1977
- [14] Krenchel H.: «Fiber reinforced brittle matrix materials». ACI International Symposium «Fiber reinforced concrete», 1974, Publication SP 44-3
- [15] Dehousse N., Lejeune A., Cuykens T.: «Les mortiers et bétons renforcés de fibres d'acier». Revue C.S.T.C., Centre scientifique et technique de la construction, Belgique, Heft 2, 1974
- [16] Swamy R.N., Mangat P.S.: «Influence of fibre-aggregate interaction on some properties of steel fibre reinforced concrete». RILEM-Materials and Structures, Heft 41, 1974
- [17] Takagi J.: «Some properties of glass fiber reinforced concrete». ACI International Symposium «Fiber reinforced concrete», 1974 Publication SP 44-5
- [18] Ritchie A.G.B., Rahman T.A.: «The effect of fiber reinforcement on the rheological properties of concrete mixes». ACI International Symposium «Fiber reinforced concrete», 1974, Publication SP 44-2
- [19] Ritchie A.G.B., Mackintosh P.M.: «Selection and rheological characteristics of polypropylene fibres». Concrete, Heft 8, 1972
- [20] Mangat P.S., Swamy R.N.: «Compactibility of steel fibre reinforced concrete». Concrete, Heft 5, 1974
- [21] Komloš K.: «Rheological characteristics of fibre reinforced concrete mixes». In: Proceedings of the VIIth International Congress on Rheology, Gothenburg, 23.-27. August 1976
- [22] Marsh H.N., Clarke L.L.: «Glass fiber reinforces cement based materials». ACI International Symposium «Fiber reinforced concrete» 1974. Publication SP 44-14
- [23] Swamy R.N., Mangat P.S.: «Influence of fiber geometry on the properties of steel fiber reinforced concrete». Cement and Concrete Research, Heft 3, 1974
- [24] Hughes B.P., Fattuhi N.I.: «The workability of steel fibre reinforced concrete». Magazine of Concrete Research, Heft 96, 1976
- [25] Flatten H.: «Untersuchungen über das Fließverhalten von Zementleim». Dissertation, Rhein. Westf. Techn. Hochschule Aachen
- [26] Wesche K., vom Berg W.: «Rheologische Eigenschaften von Zementleim und Frischbeton». Beton, Heft 1, 1973
- [27] Flatten H., vom Berg W.: «Betonwerk + Fertigteile-Technik», Heft 8, 1974

G. Brux

Strahlenschäden entlarven Antiquitätenfälscher

Datierung und Echtheitsprüfung mit Hilfe der Thermolumineszenz

Archäologen, Geologen und Kunsthändler können sich auf eine neue Methode der Altersbestimmung stützen: Die winzigen Strahlenschäden, welche die natürliche Radioaktivität in einem Werkstoff erzeugt, haben sich als zuverlässige «Uhr» für die Echtheitsprüfung alter Kunstwerke und zur Datierung historischer und archäologischer Zeitabschnitte erwiesen. Im *Max-Planck-Institut für Kernphysik in Heidelberg* arbeitet die mit Unterstützung der *Stiftung Volkswagenwerk* aufgebaute archäometrische Arbeitsgruppe an einem

Datierungsverfahren, bei dem das beim «Ausheilen» solcher Strahlenschäden auftretende Leuchten – die *Thermolumineszenz* – als Zeitmassstab verwendet wird.

Chinesische «Geisterobjekte»

Die Besucher der *Völkerkundlichen Sammlungen des Reiss-Museums in Mannheim* beispielsweise konnten jahrelang die Keramikplastik einer chinesischen Tänzerin bewundern, die

nach dem Stil beurteilt an die 1700 Jahre alt sein musste. Sie zierte sogar den Einband eines bekannten Werkes über die Kunst des Fernen Ostens. Gewisse Zweifel an der stilistischen Gestaltung der Figur veranlassten jedoch den Leiter der Völkerkundlichen Sammlungen, *Heming Bischof*, die ganze Sammlung seiner altchinesischen Keramikplastiken von *Günther Wagner* am Max-Planck-Institut für Kernphysik in Heidelberg untersuchen zu lassen. Aus dem Sockel der Plastiken wurde jeweils eine winzige Probe gebohrt. Beim Erhitzen des Probenmaterials verriet das verhältnismässig schwache Leuchten, dass es sich bei diesem scheinbar so wertvollen Stück um eine *Fälschung aus dem 20. Jahrhundert* handelte: Die Thermolumineszenz-Uhr zeigte ein Alter von nur 70 Jahren an.

Vermutlich handelt es sich bei dieser Figur um eine Nachbildung unter Verwendung der alten Prägeformen, die man beim Bau der chinesischen Eisenbahnen zu Beginn dieses Jahrhunderts wieder fand. Schon damals war das Interesse an altchinesischen Grabbeigaben sehr lebhaft und die Versuchung für Fälscher gross. Ursprünglich wurden im alten China – wie auch in Ägypten und später in anderen Kulturkreisen – den Toten Original-Gebrauchsgegenstände mit ins Grab gegeben. Man schreckte nicht einmal vor Menschenopfern zurück, damit Fürsten auch im Jenseits nicht auf ihre Leibgarde, Hofdamen und Unterhaltungskünstler verzichten mussten. Der chinesische Philosoph und Staatslehrer *Konfuzius* (551 bis 479 v. Chr.) riet schliesslich, statt der originalen Gebrauchsgegenstände verkleinerte Nachbildungen aus Keramik zu verwenden. Sie seien dem neuen «Seins-Zustand» des Verstorbenen eher angemessen. Seit damals tragen derartige Gegenstände die Bezeichnung «Geisterobjekte» (Ming-Ch'i).

Noch eine zweite, diesmal ganz unerwartete Enttäu- schung erlebte Dr. Bischof bei der Thermolumineszenz-Durchmusterung seiner Sammlung. Auch eine Keramik-Truhe mit Untergestell erwies sich als zu jung. Historisch war dieses Objekt der T'ang-Dynastie von 618 bis 907 n. Chr. zuzuordnen. Doch ergaben die archäometrischen Untersuchungen für die Truhe ein Alter von allenfalls 300 Jahren. Trotz der damals bei diesem Objekt geringen Gewinnerwartung handelte es sich wohl um eine im 18. Jahrhundert in China angefertigte Nachbildung.

Datierung römischer Wasserleitungssysteme

Einen Beweis für die Zuverlässigkeit der Thermolumineszenz-Methode konnten der Geologe *Günther Wagner* und seine Kollegen vom Heidelberger Institut in Zusammenarbeit mit Archäologen liefern. Bei der Ausgrabung einer aus spätrömischer Zeit stammenden Villa in *Bad Kreuznach* auf dem Gelände des ehemaligen Max-Planck-Instituts für Landarbeit und Landtechnik ging es um die Datierung eines aus Tonrohren bestehenden Wasserleitungssystems. Es bestand die Vermutung, diese Rohre seien erst in nachrömischer Zeit angelegt worden. Die Thermolumineszenz-Untersuchungen bestätigten jedoch ein Alter in römischer Zeit. Dann fanden die Archäologen in dem Rohrsystem eine römische Münze, und es zeigte sich, dass die Wissenschaftler nun besser als 7 Prozent Genauigkeit gemessen hatten.

«Elektronen-Falle»

Radioaktivität gibt es seit der Entstehung der chemischen Elemente vor Jahrmilliarden, und noch heute zeigt die Erdkruste natürliche Radioaktivität. Diese geht vor allem

von den radioaktiven Elementen *Uran*, *Thorium* und *Kalium* aus. Insbesondere enthalten *Ton* und *Lehm*, aus denen Gebrauchsgegenstände und Ziegel gebrannt werden, in sehr geringer Menge radioaktives Uran. Die Strahlung, die von den uranhaltigen Mineralien ausgeht, erzeugt in der umgebenden Materie unter anderem einen *sehr charakteristischen Anregungs-Effekt*. Einzelne Elektronen dieser Atome werden auf ein höheres Energie-Niveau gehoben und verharren hier in einem quasi-stationären Zustand. Sie sind für Jahrhunderte und Jahrtausende in einer Art Elektronen-Falle gefangen. So entspricht ihre Zahl der Bestrahlungsintensität und der Bestrahlungsdauer, also kurz der *Strahlendosis*. In der Tat wird dieser Effekt auch in der Kerntechnik für die Bestimmung von Strahlenbelastungen benutzt.

Alle technischen Verwendungen setzen allerdings voraus, dass man die Elektronen-Fallen bei Bedarf öffnen kann. Dazu genügt es, den bestrahlten Werkstoff zu erwärmen. Beim Überschreiten einer Temperatur von 200 °C fallen die gefangenen Elektronen nach und nach in den Grundzustand zurück. Sie geben dabei eine charakteristische Lichtstrahlung ab, die Thermolumineszenz. Diese kann man photoelektrisch messen. Ihre Intensität ist ein Mass für die Strahlungs-dosis, welche die betreffende Probe vorher aufgenommen hat. Zugleich wird die «Uhr» auf Null zurückgestellt.

Beim Aufleuchten einer Thermolumineszenz-Probe misst man also die natürliche Strahlendosis seit dem Brennen oder dem letzten Erhitzen. Bestimmt man den Urangehalt der Probe und die Strahleneinflüsse aus der Umgebung, kann man aus der Dosis die Zeit berechnen, während der betreffende Gegenstand der natürlichen Radioaktivität ausgesetzt gewesen sein muss. Damit hat man das gesuchte Alter. Dabei hängt die *Genauigkeit der Datierung von der Materialmenge* ab, die man aus dem zu untersuchenden Gegenstand herausbohren und für die Untersuchung pulverisieren kann. Im günstigsten Fall sollten es einige Gramm sein, doch bei Echtheitsprüfungen von Kunstgegenständen reichen auch einige hundertstel Gramm. Dabei geht es ja nur um die Bestimmung von Epochen, also darum, ob ein Gegenstand sehr jungen oder hohen Alters ist.

Jungsteinzeitliche Bandkeramik

Ein anderes interessantes Untersuchungsobjekt für diese Methode sind *Gebrauchsgegenstände aus der Jungsteinzeit*, jener Epoche also, da die Menschen sesshaft wurden und eine Siedlungskultur aufbauten. Die aus Ton gebrannten Töpfe jener Zeit waren in charakteristischer Weise mit Bändermustern verziert. Üblicherweise werden aus dieser Epoche organische Funde mit Hilfe der *C-14-Methode* datiert. Sie beruht darauf, dass von Pflanzen und Tieren radioaktiver Kohlenstoff (C-14) aufgenommen wird. Er entsteht in der Atmosphäre ständig aus Stickstoff durch Einwirkung der Höhenstrahlung. Doch in den letzten Jahren waren Zweifel an der Zuverlässigkeit der C-14-Datierungstechnik aufgekommen.

Unterschiedliche Ergebnisse verschiedener Methoden

In *Kalifornien* hat man mit Hilfe der uralten *Sequoia-Tannen* und *Borstenkiefern* einen anderen Weg der Altersbestimmung eingeschlagen. Man hat die *Jahrringe* aufgeschnittener Baumstämme gezählt und dabei festgestellt, dass die C-14-Methode für jene Zeit, also vor etwa 6000 Jahren, zu *Zeitabweichungen* von 700 bis 800 Jahren führt. Weil offenbar die Intensität der Höhenstrahlung damals höher war, muss man an die 800 Jahre zu dem nach der C-14-

Methode ermittelten Alter dazurechnen. Bisher war nicht sicher, wie weit das auch für Europa gilt. Untersuchungen von *Bandkeramik-Gebrauchsgegenständen* durch die Heidelberger archäometrische Arbeitsgruppe haben jedoch zu ähnlichen Aussagen geführt: Auch bei uns muss man 500 bis 800 Jahre dazurechnen.

Die Idee, Strahlenschäden in Mineralien zu geologischen Zeitbestimmungen zu benutzen, tauchte bereits Anfang dieses

Jahrhunderts auf, bald nach der Entdeckung der Radioaktivität. Doch erst die Verfeinerung der Messmethoden und die interdisziplinäre Zusammenarbeit von Physikern, Geologen und Archäologen, wie sie in den letzten Jahren vor allem bei der Untersuchung von Meteoriten und Mondmaterie entwickelt wurde, hat daraus eine der heute wichtigsten Methoden zur Altersbestimmung gemacht.

Robert Gerwin, München.

Stand- und Entgleisungssicherheit bei Zahnradbahnen

Von Gaston Borgeaud, Winterthur

V. Teil (Schluss)*

11 Fall des Rahmenfahrzeuges

Ein zweiachsiges Rahmenfahrzeug lässt sich mit einem der beiden Gestelle des hier behandelten Drehgestellfahrzeuges identifizieren, wenn die massgebenden Grössen derart eingesetzt werden, dass sich keine Kräfte am anderen Gestell und am Kasten ergeben.

Wird zum Beispiel das Fahrzeug mit dem bergseitigen Gestell identifiziert und wird die Untersuchung mit Computer durchgeführt, so kann das für das Drehgestellfahrzeug aufgestellte Programm mit folgenden Eingaben unmittelbar verwendet werden:

- a) Kastendaten
- | | |
|---|-----------------|
| Gewicht G_c , Masse \bar{m}_c und Trägheitskraft \mathfrak{Z}_c | } Wert 0 |
| Momente \mathbf{M}' und \mathbf{M}'' | |
| Faktor ξ_c | |
| Höhen h_c, h_w, h_q und h_x | |
| Längenmasse g, g', g'', d, d', d'' und w | : Wert ∞ |
- b) Daten des talseitigen Gestells
- | | |
|--|-----------------------------|
| Gewichte G und Trägheitskräfte \mathfrak{Z} | } Wert 0 |
| Massen m und rotierende Massen m_{rot} | |
| Massenmomente \mathbf{m} | |
| Kräfte X | |
| Faktoren $\alpha, \beta, \zeta, \xi_o$ und ξ_u | |
| Längenmasse | : beliebig, jedoch $\neq 0$ |
- (am einfachsten gleich wie beim bergseitigen Gestell)
- c) Ein gegebenenfalls auftretender Winddruck W kann als Querkraft T'' mit den zugehörigen h_T und t berücksichtigt werden.
- d) Wirken Stützkkräfte N_u und N_o der Nachbarfahrzeuge auf das betrachtete Fahrzeug, so sind diese Kräfte als solche zu betrachten, die auf den fiktiven Kasten wirken und von diesem aus über die Kräfte D''_u und D''_o auf das bergseitige Gestell (= untersuch-

tes Rahmenfahrzeug) übertragen werden. Die Kräfte N_u und D''_u bzw. N_o und D''_o müssen die gleiche Grösse und die gleiche Lage haben. Es müssen somit (siehe Bild 33):

$$(143) \quad D''_u = N_u, \quad D''_o = N_o$$

$$(144) \quad s_1'' = m - c_1'', \quad s_2'' = s_o - c_2''$$

$$(145) \quad s_u = m - g$$

eingesetzt werden, wobei m den Abstand der Kraft N_u vom bergseitigen Stützpunkt bedeutet.

12 Vorgehen im Falle einer Linkskurve

Laut Voraussetzung b wurden alle Gleichungen für den Fall der Rechtskurve abgeleitet. Das Bild 34b zeigt den Fall eines durch eine Linkskurve fahrenden Gestelles, wobei alle massgebenden Grössen in positiver Richtung gemäss Definition eingetragen sind. Das Bild 34c zeigt das Spiegelbild davon, das für die Untersuchung auf Grund der für die Rechtskurve aufgestellten Beziehungen massgebend ist. Der Vergleich zwischen Bildern 34a und 34c zeigt, dass es nötig ist,

- das Vorzeichen der Grössen $\mathfrak{Z}_x, \mathbf{m}_x, \mathbf{M}, q_c, q', q'', d'_o, d''_o, d'_u$ und d''_u zu ändern
- die Grössen e_L und e_R jedes Radsatzes umzutauschen
- bei jedem Tatzenlagerantrieb die Grösse f_n durch $(2e - f_n)$ zu ersetzen.

Mit diesen Änderungen wird der Fall der Linkskurve auf den Fall der Rechtskurve zurückgeführt und kann somit als solcher behandelt werden.

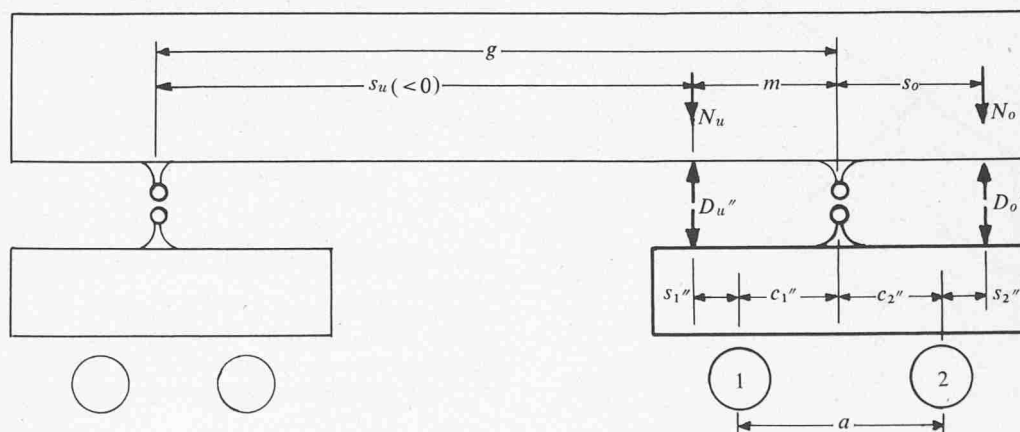


Bild 33. Die zur Behandlung des Rahmenfahrzeuges einzusetzenden Grössen $D''_u, D''_o, s_1'', s_2''$ und s_u

* I. Teil (mit Bezeichnungen): Heft 27/28, S. 535-550, II. Teil: Heft 30/31, S. 583-589, III. Teil: Heft 32, S. 598-608, IV. Teil: Heft 35, S. 644-651