

Zeitschrift:	Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber:	Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band:	96 (1978)
Heft:	14
Artikel:	Beitrag der Eidgenössischen Materialprüfungsanstalt (EMPA) zur Entwicklung der Vorspanntechnik
Autor:	Ladner, Marc
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-73668

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: 25.01.2026

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

system of cables: vertical, hooping and horizontal. These cables numbering 254 were mono-strands non-injected (unbonded).² The main objective of the tests was to determine the scheme of ruin and the coefficient of security at rupture of the vessel as well as the limit of elastic and reversible behaviour. The model, built in 1975, was annualized under constant interior working pressure in the cavities and increased up to the point of rupture. The behaviour of the model was globally elastic until an interior pressure ranging from about 120 to 130 kg/cm² was reached. This corresponds to

²) See: – "Tests on model of a prestressed concrete nuclear pressure vessel with multiple cavities", by R. Favre, M. Koprna, J.-P. Jaccoud, Volume 36-II, The memories of the AIPC;
– "Behaviour of a nuclear pressure vessel model with multiple cavities", by same authors, Publication No. 161 of EPFL.

approximately twice the maximum working pressure of 65 kg/cm². The longterm tests (pressure maintenance) revealed no unusual phenomena. The pressure attained at the time of rupture was 240 kg/cm². The rupture appeared through the breaking up of the stanch skin of some of the peripheral cavities and by the rupture of a hooping cable (Fig. 5 and 6). For the majority of the hooping cables, situated in the central section of the vessel, as well as for the vertical cables around the peripheral cavities, the elastic limit was reached or even exceeded.

This study is being continued by extended tests related to the behaviour of the stanch skin, anchored in warm concrete and subject to an important compression.

Adresse de l'Auteur: R. Favre, Professeur à l'EPFL, Institut de béton armé et précontraint, 33, av. de Cour, 1007 Lausanne.

Beitrag der Eidgenössischen Materialprüfungsanstalt (EMPA) zur Entwicklung der Vorspanntechnik

Von Marc Ladner, Dübendorf

In den letzten Jahren hat in der Entwicklung der Vorspanntechnik eine gewisse *Akzentverschiebung* stattgefunden. Diese spiegelt sich deutlich in der Art der Aufträge wider, welche die EMPA für die angesprochene *Industrie* durchzuführen hatte. Waren vor einigen Jahren auch noch grössere Untersuchungen an Spannbetonbauteilen durchzuführen – etwa an grossen Spannbetonträgern mit Aussparungen im Steg [1] oder an Betongelenken für eine Gerberträgerbrücke –, so konzentrierten sich die Arbeiten in jüngster Zeit hauptsächlich auf die Untersuchung von grossen *Spanngliedern* und deren *Verankerungen* auf ihr *Ermüdungsverhalten unter schwingend aufgebrachter Belastung* sowie unter *extremen Temperaturbedingungen*. Da diese Probleme nicht spezifisch für den Spannbetonbau sind, sondern sich auch bei all jenen Konstruktionen stellen, bei denen grosse Kräfte mittels Seilen oder Kabeln aufgenommen werden müssen, wie z.B. bei abgespannten Netztragwerken oder Schrägselibrücken, so ist es wohl kaum verwunderlich, dass sich die Tätigkeit der EMPA auch auf diese Gebiete erweitert hat. Im folgenden soll nun versucht werden, anhand einiger Beispiele diese Entwicklungstendenzen aufzuzeigen.

Prüfeinrichtungen und Versuche

Im Jahr 1969 wurde an der EMPA eine Versuchseinrichtung entwickelt, die es erstmals erlaubte, *Ermüdungsversuche mit Schwingweiten von bis zu 2,5 MN bei Oberlasten von bis zu 6,7 MN mit einer Frequenz von 4,2 Hz* aufzubringen. Eine ausführliche Beschreibung dieser Anlage ist in [2] gegeben. Mit Hilfe dieser Anlage war es möglich, dass Hi-AM (High-Amplitude)-Verankerungssystem bei Paralleldrahtbündeln und bei Litzenbündeln, das für die *Rheinbrücke Mannheim-Ludwigshafen* und für die *Überdachung der Olympia-Sportstätte in München* zur Ausführung gelangte, auf sein Ermüdungsverhalten wirklichkeitsnah zu untersuchen [3, 4, 5].

Ausser diesen Ermüdungsversuchen mussten auch *statische Zerreissversuche* durchgeführt werden, wobei auch der Nachweis zu erbringen war, dass eine *Alterung* oder eine *chemische Zersetzung des Kunstharses im Verankerungskopf* die Tragfähigkeit des Verankerungssystems nicht beeinträchtige. Dazu musste die zur Verfügung stehende Kraftumlenkungsvorrichtung, mit deren Hilfe die statischen Zerreissversuche in der vorhandenen 20-MN-Presse durchgeführt werden, mit einer Heizanlage ausgerüstet werden, mit der die

Temperaturen an den Ankerköpfen der Prüflinge bis auf über 115 °C erhöht werden konnte.

Eine Erweiterung der Ermüdungsprüf-anlage wurde dadurch bedingt, dass auch *Randseile der Olympia-Zeltdachkonstruktion* auf Ermüdung zu untersuchen waren, die über einen *Sattel mit geringem Krümmungsradius umgelenkt* waren. Ziel dieser Versuche war es, ein Seil mit grösstmöglicher Steifigkeit zu finden, das sich aber dennoch einigermassen leicht krümmen liess. Auch in diesem Fall wurde versucht, durch einen geeigneten Ausbau der bestehenden Einrichtung dieser Forderung nachzukommen [2].

Ausser den erwähnten Versuchen wurde auch ein Teil der notwendigen Untersuchungen mit den an der EMPA vorhandenen Einrichtungen vorgenommen, wodurch ein schweizerisches Produkt als erstes Litzenspannverfahren die Zulassung in der Bundesrepublik Deutschland erlangte. Insbesondere gelangten dort auch einige Neuerungen zur Prüfung, zu denen vor allem auch die *Zwischenverankerungen* gehören [6].

Zeitschwingversuche bei Tieftemperaturen (-30°C) mussten an einem Spannkabel durchgeführt werden, das aus 139 Einzeldrähten $\varnothing 6\text{ mm}$ bestand. Da nur wenige Lastwechsel ($n = 670$) zwischen einer Unterlast von $P_u = 4,95\text{ MN}$ und einer Oberlast von $P_o = 5,65\text{ MN}$ gefordert waren, musste auf die Verwendung der üblichen schnellen Pulsatoren (Frequenz = 4,2 Hz) zur Krafterzeugung verzichtet werden, da das Einstellen der Lastgrenzen mit diesen Geräten nicht ganz einfach ist: Es vergehen nämlich mindestens 10 bis 15 Minuten, bis die Kraftamplitude und die Mittelkraft einigermassen genau eingestellt werden kann. Für 500 Lastwechsel benötigen aber diese Pulsatoren nur 2 Minuten, so dass diese Zeit kaum ausreicht, um die Kraftgrenzen auch nur einigermassen zu erreichen. In diesem Fall musste daher auf eine andere Kraftsteuerungseinrichtung, nämlich auf den *Hydro-Pacer*, ausgewichen werden, mit dem bei den angegebenen Kraftgrenzen eine Frequenz von 0,5 Hz erreicht werden konnte. Ausserdem musste bei diesem Versuch eine Kühlleinrichtung um den oberen Verankerungskopf und um das Kabel selber gebaut werden, was in Zusammenarbeit mit dem Auftraggeber unter Bezug einer Spezialfirma bewerkstelligt wurde. Die Kontrolle und Messung sowie die während des Versuches notwendigen Korrekturen der Temperatur wurden von der EMPA übernommen.

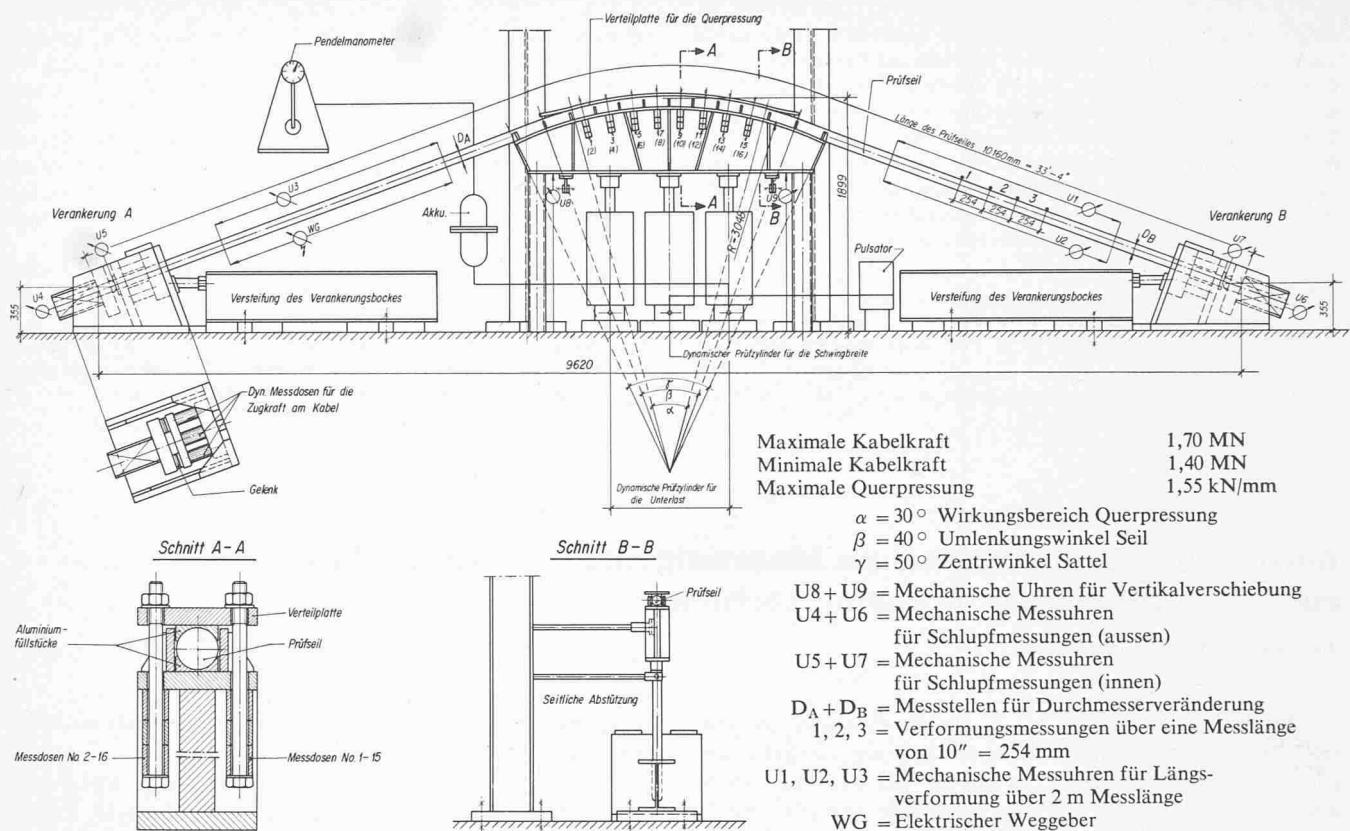


Bild 1. Schematische Darstellung der Versuchseinrichtung zur Durchführung von Ermüdungsversuchen an umgelenkten Stahlseilen (Masse in mm)

Schematical presentation of the test rig for carrying out fatigue tests on steel cables which change direction (measurements in mm)

Ganz besondere Ermüdungsprobleme grosser Stahlseile treten im *Sattel der Pfeiler von Schrägselbrücken* auf. Hier entstehen neben der Kraftamplitude auch *Eigenspannungen* infolge der Seilkrümmung und Querpressungen, die dadurch hervorgerufen werden, dass meistens mehrere Kabellagen neben- und übereinander angeordnet sind. Um auch für diese Bauwerke möglichst praxisnahe Versuchsbedingungen zu schaffen, wurde an der EMPA eine Versuchseinrichtung entwickelt, deren Arbeitsprinzip hier kurz beschrieben werden soll [7].

Die Versuchseinrichtung besteht aus zwei Ankerblöcken, die auf dem Aufspannboden der EMPA verankert werden (Bilder 1 und 2). Dazwischen befindet sich der Umlenksattel mit einem variablen Radius. Dieser Umlenksattel ist auf hydraulische Einzelprüfzylinder gestellt, die zur Erzeugung der notwendigen Kabelkräfte dienen. Ein Teil dieser Zylinder wird zu einer Gruppe zusammengefasst und an einen mit Stickstoff gefüllten Druckspeicher (Akumulator) angeschlossen, der seinerseits durch ein Federkraftmanometer unter Druck gehalten wird. Die Aufgabe dieser ersten Gruppe ist es, den Betrag der Unterlast während der Schwingversuche konstant zu halten. Mit der zweiten Gruppe von Prüfzylindern wird die Schwingbreite der Kraft aufgebracht, indem diese an einen Pulsator angeschlossen wird.

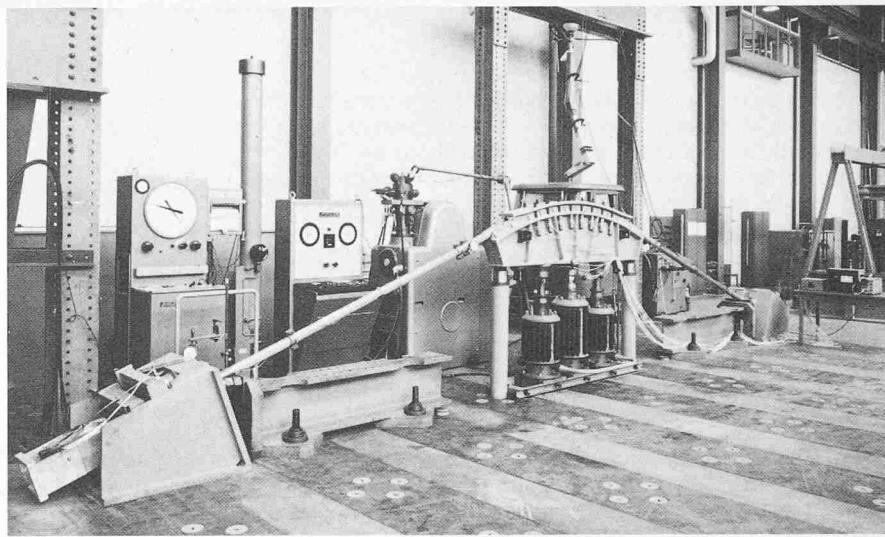
Die Kraftmessung im Kabel und die Steuerung der Versuchslasten erfolgt über besondere dynamische Kraftmessdosen, die auf beiden Seiten des Kabels eingebaut sind. Diese gestatten, die Kabelkraft bis auf ungefähr ± 5 kN genau zu erfassen. Zur Vermeidung von unerwünschten Biegebeanspruchungen im Kabel während der Schwingversuche können zwischen den festen Stahlplatten der Ankerblöcke und den Kabelköpfen Gelenke eingebaut werden, so dass eine saubere Einleitung der Zugkraft ins Kabel gewährleistet ist.

Neben der Kraftmessung im Versuchsseil lassen sich je Ankerblock auch *Schlupfmessungen beidseitig des Kabelkopfes* durchführen. Außerdem können auf den freien Kabellängen die Verlängerungen des Kabels infolge Kraftzunahme (Bestimmung des Verformungsmoduls vom ganzen Seil) über eine Messlänge von 2 m bequem festgestellt werden. Dafür stehen sowohl mechanische als auch elektrische Weggeber zur Verfügung, so dass es also möglich ist, auch während der Schwingversuche ohne Versuchsunterbruch die Dehnungszunahme zu verfolgen und zu überwachen. Zusätzlich können auch *Durchmesseränderungen* bestimmt werden.

Das Aufbringen von *Querpressungen* im Bereich des Umlenksattels geschieht über eine Verteilplatte, die mittels Schraubenbolzen auf das Kabel gepresst wird. Zur Feststellung der wirksamen Pressung wird die von jedem Bolzen abgegebene Kraft über eine dazwischengeschaltete Messdose ermittelt. Versuche haben gezeigt, dass die Schwankungen der Querpressung infolge der Schwingbeanspruchung im Kabel kleiner als 5% werden.

Die Anlage ist für die in Bild 1 angegebenen Abmessungen und Kräfte gebaut. Sie lässt sich aber mit relativ einfachen Mitteln auch für flachere und entsprechend längere Kabel verwenden. Damit ist auch eine Kraftsteigerung möglich, die zudem noch durch Hinzunahme eines vierten Prüfzylinders erhöht werden könnte. Die Möglichkeiten im einzelnen müssten fallweise genau abgeklärt werden. Hingegen dürfte eine Begrenzung der Anlage einerseits durch die auf 15 mm beschränkte Hubhöhe der von einem Pulsator gespeisten Einzelprüfzylinder gegeben sein. Einfach gestaltet sich auch eine Vergrösserung der Querpressung, die bis auf 2,45 kN/mm gesteigert werden kann, ohne dass zusätzliche Bolzen erforderlich wären.

Bild 2. Ansicht der Prüfanlage für umgelenkte Seile bis zu etwa 2 MN Oberlast
View of the testing arrangement for cables which change direction for loading up to around 2 MN



Eine zweite Anlage, die auch der Ermüdungsprüfung umgelenkter Stahlseile dient, steht ebenfalls zur Verfügung. Sie erlaubt Kräfte bis zu $P_0 \approx 6,0$ MN bei Kraftamplituden von etwa $\Delta P \approx 1,0$ MN. Die Seillänge ist allerdings kürzer als bei der in Bild 1 dargestellten Anlage und beträgt nur etwa $l = 6000$ mm.

Besondere Versuche

Aus den vielen Belastungsversuchen an Brücken, die von der EMPA durchgeführt werden, sollen hier zwei Fälle herausgegriffen werden, die wegen ihres Umfangs und ihrer Besonderheiten den Rahmen der üblichen Untersuchungen sprengen. Es handelt sich um eine *Strassenunterführung bei Eiken, Kt. Aargau [8]*, und um eine *Strassenbrücke aus teilweise vorgespanntem Leichtbeton bei Schaffhausen [9]*.

Beim erstgenannten Objekt handelt es sich um eine *Drillingshohlbalkenbrücke ohne Querträger, die schief gelagert ist*. Um das Verhalten dieser nicht alltäglichen Konstruktion etwas genauer abzuklären, wurden sowohl an einem Einzelhohlbalken, bevor die Fugen in der Fahrbahnplatte geschlossen wurden, als auch an der fertigen Drillingsbrücke sehr umfangreiche Belastungsversuche durchgeführt. Die daraus gewonnenen Erkenntnisse sind in [8] angegeben.

Bei der Leichtbetonbrücke interessierte man sich vor allem am *Schwingungsverhalten des Bauwerkes*, weshalb die Brücke mit einem *Schwinger an verschiedenen Orten angeregt wurde*. Auch diese Versuche lieferten interessante Resultate und trugen dazu bei, die Kenntnisse über das *dynamische Verhalten von Leichtbetonkonstruktionen mit teilweiser Vorspannung* zu vertiefen. Diese ergänzten auch sehr schön die Untersuchungen, die von der EMPA über das dynamische Verhalten von Brückenbauwerken unter Verkehr gegenwärtig im Gange sind. Eine weitere Untersuchung auf diesem Gebiet betrifft den *Vergleich zwischen gemessenen und berechneten Schwingungsformen unter einem Lastwagen der Limmatbrücke bei Neuenhof*, worüber in [10] ausführlich berichtet wurde.

Abschliessend sei noch darauf hingewiesen, dass die EMPA auch im Rahmen der Normierungsarbeiten aufgrund ihres Erfahrungsschatzes mithelfen möchte, dass in den einschlägigen Normen des Schweiz. Ingenieur- und Architekten-Vereins SIA [11] sinnvolle und verantwortbare Vorschriften enthalten sind, die aber keine unnötigen Erschwernisse für die technische Weiterentwicklung darstellen.

Ausblick

Die Anforderungen, die heute an Vorspannsysteme und an Kabel, die im Schrägselbrückenbau Verwendung finden sollen, gestellt werden, sind sehr hoch und mannigfaltig. Immer mehr wird von den Bauherrschaften verlangt, dass durch Versuche, die hinsichtlich ihrer Anforderungen und Randbedingungen die Wirklichkeit möglichst nah nachbilden, der Nachweis erbracht werde, dass ein System diesen Anforderungen auch genüge. Häufig bereitet es aber ganz erhebliche Schwierigkeiten, diesen Nachweis unter Einhaltung aller Randbedingungen überhaupt zu erbringen. Die EMPA war bis anhin bemüht, diesen Aufgaben gerecht zu werden und damit einen Beitrag zur Weiterentwicklung und Verbesserung der Spannsysteme zu liefern. Die Versuchsanlagen, die ihr dabei zur Verfügung stehen, erlauben es, recht flexible Prüfanlagen zu konzipieren. Sie wird deshalb auch weiterhin bestrebt sein, alle Anstrengungen zu unternehmen, um auf diese Weise und auch durch Unterstützung von Forschungs- und Normierungsarbeiten die technische Entwicklung auf diesem Gebiet zu fördern.

Literaturverzeichnis

- [1] Portmann M., Huber J. W., Wachter H. R.: «Der Neubau des Personenbahnhofes Bern.» Schweiz. Bauzeitung, Heft 39, 1966.
 - [2] Meier U., Rösl A.: «Versuchseinrichtung für Zugschwellbeanspruchungen an grossen Spannkabeln.» Schweiz. Bauzeitung, Heft 4, 1971.
 - [3] Meier U.: «Das Olympiadach in München und die dafür durchgeföhrten Grossversuche.» Schweiz. Bauzeitung, Heft 16, 1971.
 - [4] Zenobi G.: «Die Verankerungen der Haupttragseile für die Olympia-Zeltdachkonstruktion in München.» Schweiz. Bauzeitung, Heft 35, 1972.
 - [5] Andrá W., Saul R.: «Versuche mit Bündeln aus parallelen Drähten und Litzen für die Nordbrücke Mannheim-Ludwigshafen und des Zeltdaches in München.» Die Bautechnik, Heft 9, 10 und 11, 1974.
 - [6] Mehlhorn G., Mehmed H. Chr.: «Spannverfahren-Entwicklung und aktuelle Probleme.» Betonwerk + Fertigteiltechnik, Heft 9, 1976.
 - [7] Ladner M., Balas S.: «Versuchseinrichtung zur Durchführung von Ermüdungsversuchen an umgelenkten Stahlseilen.» Material und Technik, Heft 1, 1976.
 - [8] Herzog M., Fent B.: «Belastungsversuch an einer schiefen Drillingshohlbalkenbrücke.» Strasse, Brücke, Tunnel, Heft 9, 1973.
 - [9] Balas S.: «Die Leichtbetonbrücke Schaffhausen. Belastungs- und Schwingversuche.» Schweiz. Bauzeitung, Heft 28/29, 1976.
 - [10] Stucki Ch., Studer W., Ladner M.: «Nachrechnung des dynamischen Verhaltens einer Brücke.» Material und Technik, Heft 1, 1974.
 - [11] Norm SIA 162: «Norm für die Berechnung, Konstruktion und Ausführung von Betonwerken aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton.»
- Norm SIA 191: «Boden- und Felsanker.»