

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 90 (1972)
Heft: 31

Artikel: Felsanker und Kraftmessanlage in der Kaverne Waldeck II
Autor: Möschler, E. / Matt, P.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-85275>

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>

Bruchmechanik- oder COD-Prüfungen dienen der Ermittlung der Bruchsicherheit des Bauteils. Zur Qualitätskontrolle werden Kerbschlagproben mit dem ISO-Spitzkerb eingesetzt. Während auf diesem Gebiet Kerbschlagproben keine quantitativen Beurteilungsgrundlagen im Sinne von Spannungen und kritische Fehlergrößen liefern, so zeigen sie doch relative Änderungen des Bruchverhaltens recht zuverlässig an. Kerbschlagproben mit gedrückter Scharfkurve oder mit Ermüdungsriss ergeben eine verbesserte Korrelierbarkeit mit Grossproben.

Literaturverzeichnis

- [1] Varga T.: Denkmodelle zur Beurteilung der Bruchsicherheit unter statischer oder schlagartiger Belastung mit besonderer Berücksichtigung von Bauteilen aus ferritischen Baustählen. Habilitationsschrift an der ETH Zürich (1971).
- [2] Tiffany, C.F.; Masters, J.N.: Applied Fracture Mechanics, ASTM Special Technical Publication No. 381, Philadelphia 1964.

Adresse der Verfasser: Dr. T. Varga und W. Stumpf, dipl. Ing., Laboratorium für Spannungsanalyse und Werkstoffverhalten, Gebr. Sulzer AG, 8401 Winterthur.

Felsanker und Kraftmessanlage in der Kaverne Waldeck II

DK 624.131.531.3:621.311.17

Von E. Möschler und P. Matt, Bern

1. Gesamtanlage Waldeck

Die Preussenelektra, welche den Nordostteil der Bundesrepublik Deutschland mit Strom versorgt, hat 1929 bis 1932 mit Waldeck I ihr erstes grosses Pumpspeicherwerk errichtet. Da die Gegend unterhalb des Edersees günstige Voraussetzungen bietet, wurde beschlossen, dort ein weiteres Pumpspeicherwerk zu erstellen. Unter- und Oberbecken mit Einlaufbauwerk der neuen Anlage wurden im Hinblick auf ein später zu bauendes, drittes Pumpspeicherwerk überdimensioniert. Alle drei Werke werden ein gemeinsames Unterbecken von 5,4 Mio m³ Inhalt haben. Das neue Oberbecken – für Waldeck II und das geplante Waldeck III bestimmt – wird 4,6 Mio m³ Inhalt haben und liegt 335 m höher.

2. Pumpspeicherwerk Waldeck II

Die Inbetriebnahme des ersten Maschinensatzes ist für Herbst 1974 vorgesehen. Im April 1975 werden beide Maschinen laufen. Aus technischen und wirtschaftlichen Gründen war die Anordnung der folgenden Hauptanlageteile des Kraftwerkes im Bergesinnern erforderlich:

- Druckleitung, max. Gefälle 67%, horizontale Länge rd. 600 m, Querschnitt 26 m²
- Kaverne mit Verteilern und Kabelstollen
- Wasserschloss, Höhe 37 m, Durchmesser 23 m
- Unterwasserstollen, Länge rd. 500 m, Querschnitt 44 m².

3. Kaverne Waldeck II

Die Kaverne – 106 m lang, 33,5 m breit und bis 55 m hoch – wird zwei vertikale Maschinensätze von je 220 MW aufnehmen (siehe Bild 1). Die Pumpen kommen 55 m unter den Unterbeckenspiegel zu liegen. Im ungefähr 30 m hohen Südteil der Kaverne werden die beiden Blocktransformatoren stehen.

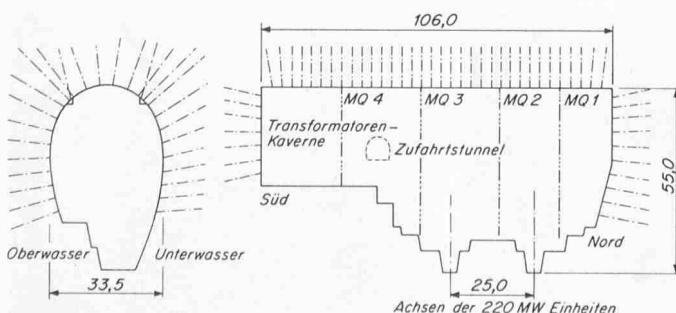
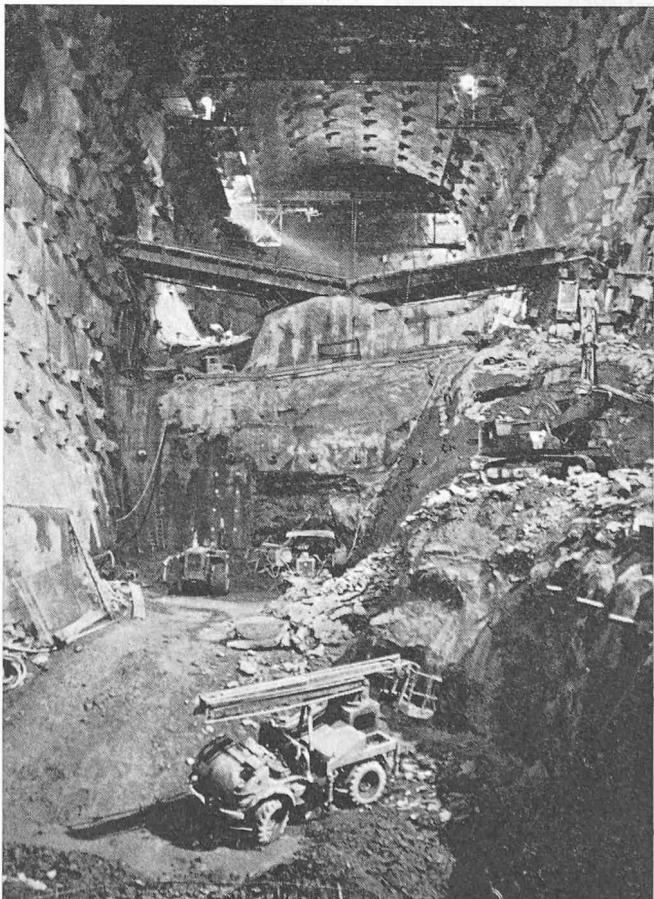


Bild 1. Quer- und Längsschnitt durch die Maschinenkaverne mit schematischer Anordnung der Felsanker. Messquerschnitte MQ 1 bis MQ 4

Schichtung und Klüftung des Tonschiefergesteins sowie geologische Störungen bestimmten Lage und Richtung und zum Teil auch die Querschnittsform der Kaverne. Um die grosse Spannweite zu verwirklichen, entschloss man sich zu weitgehender Anwendung vorgespannter Felsanker. Diese ermöglichen die Bildung eines natürlichen Gewölbes um den Hohlraum.

Die Sicherung der Kaverne besteht aus: Felsankern mit rund 170 t Prüfkraft (1 Anker auf 12 m² Kavernenwand), dazwischen 12-t-Stabanker von 4 bis 6 m Länge sowie einer armierten Spritzbetonschicht von 20 cm Gesamtdicke. Um die ungesicherte Felsfläche klein zu halten, mussten die 170-t-Anker möglichst rasch nach erfolgtem Ausbruch versetzt werden (Bild 2).

Bild 2. Die Maschinenkaverne Waldeck II Ende 1971 vom Nordende der Kaverne aus aufgenommen. Die Ankerwiderlager an Ulmen und Kalotte sind deutlich zu erkennen



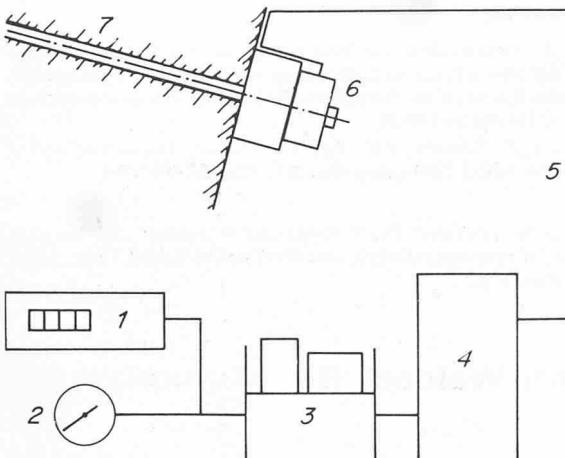


Bild 3. Blockschema der VSL-Kraftmessanlage. 1 digitales Kraftanzeigegerät, 2 Feinmessmanometer, 3 elektrische Hydraulikpumpe, 4 Verteilschrank, 5 Übertragungsleitung, 6 bewegliche Verankerung und hydraulische Kraftmessdose VSL 200 t, 7 Felsanker

4. Felsanker

Vor Beginn des Kavernenausbruches wurden in Sondierungsstollen verschiedene in Frage kommende Ankersysteme geprüft. Auf Grund einer vergleichenden Untersuchung wurden VSL-Felsanker für Kalotte, Ulmen, Teile der Stirnwände sowie zur Verankerung der Kranbahnkonsolen gewählt (siehe Tabelle 1). Gleichzeitig konnte durch diese Probeanker die Länge des Hafteils festgelegt werden.

Da Wirkungsweise und Aufbau eines Felsankers als bekannt vorausgesetzt werden dürfen, sei nachfolgend nur auf einige Massnahmen hingewiesen, die getroffen wurden, um die Zuverlässigkeit der Daueranker zu gewährleisten:

- Erstellen eines Bohrberichtes für jedes Bohrloch.
- Bei rund 10% der Bohrlöcher wurde deren Verlauf mittels Photolotung kontrolliert; bei weiteren 10% sammelte man durch das Einführen einer Fernsehsonde geologische Daten.
- Wasserabpressversuch bei jedem Bohrloch; der Wasserverlust durfte dabei 1 Lugeon (1 l/min und m bei 10 atü Druck) nicht überschreiten; bei grösseren Verlusten wurde das Bohrloch mit Zementmörtel injiziert und nachgebohrt.
- Prüfen jedes Ankers mit der 1,3fachen Nennlast.
- Einbau von 90 Messankern in 4 Messquerschnitten MQ 1 bis MQ 4 (siehe Abschnitt 5).

Tabelle 1. Anker für Kavernensicherung und für die Verankerung der Kranbahnkonsolen

	Typ 170 MR für Kavernensicherung	Typ 125 MR für Verankerung der Kranbahnkonsolen
Anzahl	716	68
Prüflast $0,65 \beta z$	172,5 t	125,5 t
Nennlast $0,5 \beta z$	132,7 t	96,5 t
(βz = Bruchfestigkeit des Spannstahles)		
Spannstahl 140/160 kg/mm ²	33 Ø 8 mm	24 Ø 8 mm
Ankerlängen	20 bis 28 m	13 bis 18 m
Länge der Haftstrecke	4,5 m	3 m
Beginn der Ankerarbeiten	Dezember 1970	
Ende der Ankerarbeiten	Februar 1972	
Grösste Wochenleistung (liefern, versetzen, injizieren, spannen)	30 Anker	

- Dauernde Kontrolle der Gebirgsbewegung mit Extensometern.
- Besonderes Gewicht wurde auf einen wirksamen Korrosionsschutz gelegt. So gewährleisten Abstandshalter eine Zentrierung des Ankers längs der Haftstrecke im Bohrloch und damit eine Überdeckung des Spannstahles mit Injektionsgut. Der Stahl der Spannstrecke ist geschützt durch Vorinjektion, 2 Hüllrohre, Sekundärinjektion und einen während der Ankerfabrikation aufgebrachten Schutzanstrich.
- Die verlangte Unempfindlichkeit der Anker gegen Quer- und Längsbewegungen des Felses konnte durch die Verwendung von 2 Hüllrohren erreicht werden. Das freie Spiel längs der Spannstrecke bewirkt, dass sich Kraftänderungen nur auf Haftstrecke und luftseitige Verankerung auswirken; die letztere gestattet ein Nach- oder Entspannen des Ankers.

5. Kraftmessanlage

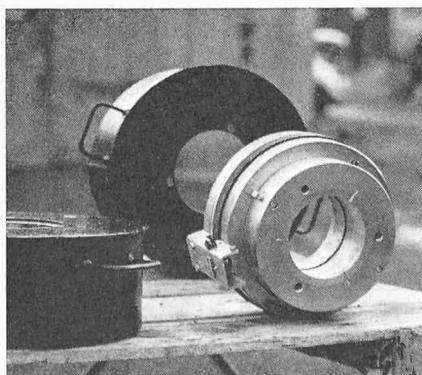
5.1 Zweck

In Waldeck wurde erstmals eine Kavernenspannweite von 33,5 m in Tonschiefer verwirklicht. Der Bauherr wollte deshalb das Verhalten des Gewölbes kontrollieren können und war auch bereit, die Kosten eines umfassenden und auf Jahre hinaus zuverlässigen Messsystems zu tragen.

Bild 4, links. Verteilerschrank und Anzeigeeinheit im Messraum

Bild 5, Mitte. Messdose mit Sprengschutzdeckel. Die oft sehr nahe bei den eingebauten Messdosen ausgeführten Ausbrucharbeiten erforderten schwere Schutzdeckel

Bild 6, rechts. Einstellen des Kolbenhubes nach der Montage der Dose. Verständigung zwischen Kaverne und Messraum über Sprechfunk



Gebirgsbewegungen und Gewölbedeformationen können bei vorgespannten Felsankern eine Längenänderung zwischen bergseitiger und luftseitiger Verankerung bewirken. Die sich daraus ergebende Veränderung der Spannstreckendehnung äussert sich in einer Zu- oder Abnahme der Ankerkraft. Die periodische Messung von Ankerkräften gestattet somit Rückschlüsse auf das Verhalten des Gebirges. Neben der Messung der Ankerkräfte werden mittels Extensometern die auftretenden Gewölbedeformationen kontrolliert.

5.2 Messanker

Die Messanker der Kaverne Waldeck unterscheiden sich von den normalen VSL-Ankern durch das Fehlen der Sekundärinjektion mit Zementmilch. Die Korrosionsschutzinjektion besteht bei diesen Ankern aus einem Spezialfett. Die sich ergebende verbundlose Spannstrecke gestattet es, kleinste Kraftänderungen festzustellen. Die Messanker haben eine Doppelfunktion: Felsanker und langfristiges Messen der Kräfte.

Wie bereits erwähnt, wurden in den vier Messquerschnitten *MQ 1 bis MQ 4* insgesamt 90 Messanker eingebaut. Die Kontrolle der Gewölbedeformationen erfolgt in den gleichen Querschnitten.

Die Bauherrschaft wünschte eine zentrale Messmöglichkeit und forderte für eine Dauer von mindestens fünf Jahren eine Messgenauigkeit von $\pm 2\%$.

5.3 Das elektro-hydraulische Kraftmesssystem

Es standen verschiedene Methoden für die Ankerkraftmessung zur Auswahl. Das schliesslich gewählte Kraftmesssystem VSL ist auf die besonderen Bedürfnisse des Bauwesens, insbesondere der Vorspanntechnik, zugeschnitten und weist folgende Hauptmerkmale auf:

- Messsicherheit über viele Jahre durch unveränderte Charakteristiken des hydraulischen Systems
- Unempfindlichkeit gegen exzentrischen oder schießen Kraftangriff
- Kleiner Hystereseverlust durch geringe innere Reibung
- Temperatureinfluss im Rahmen der Ölviskosität
- Robuste Konstruktion: unempfindlich gegen Feuchtigkeit, Verschmutzung und Stöße
- Einfache Installation und Bedienung von einer zentralen Messstation aus (siehe Bild 4).

Die in Waldeck eingebaute Anlage besteht aus drei Teilen: der am Felsanker angebrachten hydraulischen Messdose, den Übertragungsleitungen und der Druckerzeugungs- und Kraftanzeigeeinheit (Bild 3).

An einem Verteilerschrank wird die elektrische und hydraulische Verbindung zwischen Messdose und Anzeigegerät hergestellt. Eine für die Messung einzuschaltende Hochdruckpumpe bringt das sich in der Leitung befindende Öl unter Druck, worauf die Messdose (siehe Bilder 5 und 6) die Verankerung vom Widerlager abhebt. Ein an der Dose angebauter Endschalter bewirkt nach einem bestimmten Kolbenhub über die elektrische Steuerleitung ein Abschalten der Pumpe. Dieser Hub ist pro Dose konstant (siehe Bild 7); für jede Messung sind also gleiche Bedingungen vorhanden. Aus dem jetzt im System vorhandenen Druck ergibt sich die zum Abheben erforderliche Kraft, welche infolge des Messdosenhubes um rd. 7 t höher liegt als die Ankerkraft. Da aber nicht der absolute Wert der Ankerkraft, sondern die Kraftänderungen über längere Zeit interessante Aufschlüsse geben, ist diese Tatsache von geringer Bedeutung. Das Anzeigen der Kraft geschieht auf einem digitalen Anzeigegerät direkt in Tonnen. Bis zu 150 m entfernte Messanker können so in Minuten schnelle ferngemessen werden. Zwischen den Messungen bleibt das ganze Hydrauliksystem drucklos.

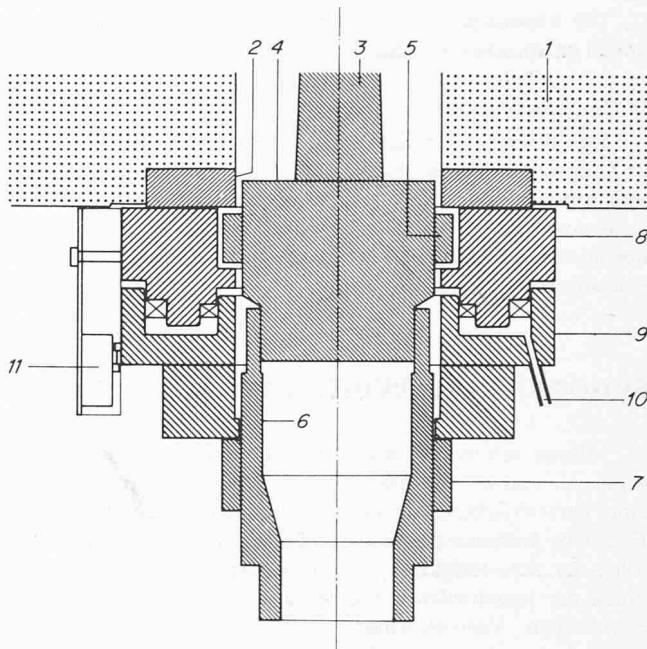


Bild 7. Vereinfachter Schnitt durch die bewegliche Verankerung eines VSL-Messankers mit VSL-Messdose. Der Messdosenzylinder ist teilweise ausgefahren und hat die bewegliche Verankerung von der Ankerplatte abgehoben

1	Beton des Ankerwiderlagers	6	Verlängerungsrohr
2	Ankerplatte	7	Ringmutter
3	Spannstahlbündel	8	Messdosenkolben
4	Ankerbüchse	9	Messdosenzylinder
5	Ringmutter	10	Hydraulikanschluss
11	Elektrische Hubrückmeldung		

Seit Beginn 1971 arbeitet das Kraftmesssystem einwandfrei. In Bild 8 sind für einen Messanker die bis anhin gemachten Messungen dargestellt. Diese Messungen werden periodisch (anfänglich wöchentlich, später in Abständen von 4 bis 6 Wochen) von der Bundesanstalt für Bodenforschung vorgenommen und ausgewertet. Ein Teil der Messanker wies allgemein einen leichten Anstieg, ein anderer Teil einen leichten Abfall der Ankerkraft auf. Der grösste aufgetretene Kraftanstieg, der sich aus Gewölbedeformation ergab, betrug bis zum Vollausbruch der Kaverne nur 12 t, das heisst von $0,50 \beta_z$ auf $0,543 \beta_z$; der Kraftabfall bewegte sich in der Größenordnung der zu erwartenden Stahlrelaxation.

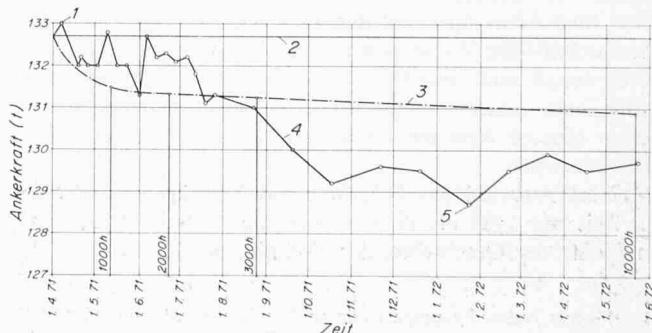


Bild 8. Auswertung von Messergebnissen an einem Felsanker

- 1 Erste Ablesung
- 2 Nennlast $132,7 \text{ t}$, $\sigma = 0,5 \beta_z$
- 3 Theoretischer Verlauf der Relaxation für $\sigma = 0,5 \beta_z$
- 4 Verlauf der gemessenen Ankerkraft beim Messanker P60
- 5 Grösste Abweichung von der Nennlast (-4 t oder $3\% \text{ der Nennlast}$)

Die Messungen zeigen, dass sich die Kaverne den Erwartungen entsprechend verhält.

5.4 Zusammenfassung

Das beschriebene Kraftmesssystem eignet sich vor allem für Langzeitmessungen, bei denen mittels einer Anzeigeeinheit viele Messstationen abgefragt werden sollen. Es sei darauf hingewiesen, dass für Kurzzeitmessungen ein geschlossenes Messsystem genügt, bei dem die Messdose ständig die Last hydraulisch aufnimmt.

Weitere Anwendungsgebiete (Messdosenkapazitäten von 30 bis 1000 t) sind:

- Kontrolle des Tragverhaltens von Erdankern über lange Zeit
- Bestimmung der Spannkraftverluste im Brückenbau
- Kontrolle der Spannkräfte nicht injizierter Kabel im Reaktorbau über lange Zeit.

Adresse der Verfasser: *E. Möschler, Ingenieur-Techniker HTL, und P. Matt, dipl. Ing. ETH/SIA, in Firma Losinger AG, VSL International, Könizstrasse 74, 3001 Bern.*

Synopsis, ein Werk über Alvar Aalto¹⁾

DK 92:72

«Wenn ich ein architektonisches Werk zu lösen habe, bleibe ich zuerst, und dies ausnahmslos, beim Gedanken an seine Verwirklichung stecken – es handelt sich um eine Art „Drei-Uhr-morgens-Stimmung“. Diese ist wahrscheinlich die Folge der Schwierigkeiten, die verursacht werden durch den Druck der verschiedenen Elemente im Augenblick der architektonischen Verwirklichung. Die sozialen, menschlichen, technischen und wirtschaftlichen Forderungen, die sich neben den psychologischen Forderungen stellen ... sind so zahlreich, dass sie einen Knäuel bilden, der nicht mit rationalen Methoden gelöst werden kann. Die daraus hervorgehende Komplexität hindert den architektonischen Grundgedanken daran, Form anzunehmen. In solchen Fällen gehe ich in völlig irrationaler Weise folgendermassen vor: Ich vergesse für einen Augenblick den ganzen Knäuel von Problemen, streiche ihn aus meinen Gedanken und beschäftige mich mit etwas, das am ehesten als abstrakte Kunst gekennzeichnet werden kann. Ich beginne zu zeichnen und lasse mich völlig von meinem Instinkt leiten – und dann entsteht auf einmal der Grundgedanke.»

«... habe ich mit all dem oben Erwähnten versucht, die dem naturgemässen organischen Leben ähnliche Variierung und das Wachstum als die tiefste Eigenschaft der Architektur zu unterstreichen. Ich möchte sagen, dass dies schliesslich der einzige wirkliche Stil der Architektur ist. Wenn ihm Hindernisse in den Weg gelegt werden, verkümmert und stirbt die Architektur.»

Nur solche Behutsamkeit, solch aufmerksames Horchen auf die Natur und unablässiges Erfragen ihrer Arbeitsweise ermöglichen dem Genius das Wachstum eines Werkes, das – um mit Cézanne zu sprechen – parallel zur Natur geschaffen ist.

Dem Institut für Geschichte und Theorie der Architektur an der ETH gebührt Dank dafür, dass es uns ein fundiertes Werk über Alvar Aalto auf den Tisch legt, das uns sowohl auf wissenschaftliche Weise in drei Sprachen informiert als auch durch Inhalt und Gestaltung beeindruckt. Es wäre kleinlich, wollte man einzelne unbedeutende Ungereimtheiten, wie sie bei so grossen Arbeiten immer auftreten können, aufzählen oder ankreiden.

Eine Auswahl aus Schriften und Vorträgen Aaltos aus der Zeit von 1938 bis 1969, welche die Architekturprobleme im Lichte der Geschichte, der Technik, der Künste und der

Menschlichkeit beleuchten und gleichzeitig sein Credo ahnen lassen, leitet über zum Kernstück des Buches: einer Folge von über 150 zum Teil farbigen Abbildungen, welche durch ihre freien Gegenüberstellungen von Bauten, Skizzen, Malereien, Entwürfen von Möbeln, Vasen und Beleuchtungskörpern, Plänen, Skulpturen und Planungen fasziniert. Die Komposition stammt von Aalto selbst, und zwar ist er dabei offensichtlich so vorgegangen, dass meist Form oder Rhythmus das verbindende Element für gänzlich verschiedene Inhalte bilden, zum Beispiel Innenraum/freies Aquarell, Aussenaufnahme eines Gebäudes/Ölbild, Siedlungsmodell/Holzrelief, Fassadenstruktur/abstrakte Struktur usw. Seine Skizzen zeigen häufig Durchdringungen von Grundrissen, Aufrissen, Schnitten und Landschaft am gleichen Objekt. Alles in allem ist die Ganzheit dieses Bildteiles Sinnbild für Aaltos Glauben an die Einheit von Natur und Werk. So sind auch seine Skizzen und Pläne nicht nur technische Hilfen, sondern bilden zugleich eine Augenweide von hohem künstlerischen Rang.

Den textlichen Ausklang des Buches liefert Werner Mosers sympathischer Vortrag anlässlich der Eröffnung von Alvar Aaltos Ausstellung in Zürich 1964. Es folgen u.a. eine chronologische sorgfältige und vollständige Werkliste, eine ebensolche Bibliographie und ein stark geraffter Lebenslauf. Eindrücklich ist die Werkliste, welche Zeugnis ablegt von der ungeheuren Schaffenskraft Aaltos. Die kaum zu glaubende Zahl von Schriften über ihn, Aufsätzen über einzelne Werke und Ausstellungen verweisen auf die Bedeutung, die diesem Zeitgenossen zugemessen wird.

Es drängt mich nun, im folgenden das Buch im Wortlaut selbst sprechen zu lassen, und ich wage es, die Zitate aus dem Zusammenhang herauszunehmen, weil sie für sich allein schon beeindrucken. Dabei bezweckte ich, durch die Auswahl der Textstellen eine Idee der Spannweite der Gedanken und des Schaffens von Alvar Aalto zu vermitteln.

Ausserungen Aaltos bezüglich Geschichte, Natur, Menschlichkeit, Organik, Funktion, Flexibilität

In den primitiven Zeiten war das tragende Skelett beinahe das einzige Problem und auch das Grundelement der damaligen Architektur (1938)

Ich habe früher einmal behauptet, dass das beste Standardisierungskomitee der Welt die Natur selbst sei, aber in der Natur tritt die Standardisierung ja vor allem und beinahe ausschliesslich nur bei den kleinsten Einheiten auf, den Zellen. Dies hat Millionen von elastischen Verbindungen zur Folge, in denen kein Formalismus zu finden ist. Daraus folgen auch der enorme Reichtum und die ewige Abwechslung der organisch wachsenden Formen. Denselben Weg muss auch die architektonische Standardisierung beschreiten (1938)

Unsere Gesellschaft soll sich Grad um Grad aus freien Baugruppen weiterentwickeln, deren gegenseitiges Verhältnis

¹⁾ Alvar Aalto. Synopsis. Malerei, Architektur, Skulptur. Band 12 aus der Schriftenreihe des Instituts für Geschichte und Theorie der Architektur an der ETH Zürich. Vorwort: Bernhard Hoesli. Auswahl aus den Schriften von Alvar Aalto: Martin Steinmann. Bildteil: Auswahl: Elisa Aalto, Karl Fleig; Komposition: Alvar Aalto. Überblick über das Schaffen von Alvar Aalto: Werner M. Moser. Chronologische Werkliste: Martin Steinmann. Bibliographie: Leonardo Mossa. 230 S. mit 30 Farbtafeln, wovon 20 ganzseitig, und 120 zum Teil doppelseitigen Abb. Format 28,5 × 24,3 cm. Basel 1971, Birkhäuser-Verlag. Preis Kunstleder geb. 85 Fr.