

DIPLOMARBEIT

MASTER'S THESIS

Die Radialpresse - Auswertungsverfahren

The Radial Jack - Evaluation Procedure

ausgeführt zum Zwecke der
Erlangung des akademischen Grades eines Diplom-Ingenieurs
unter der Leitung von

Univ.Prof.Dr. Ewald Tentschert

E 203

Institut für Ingenieurgeologie

eingereicht an der Technischen Universität Wien
Fakultät für Bauingenieurwesen

von

Markus Kuntner

9426714

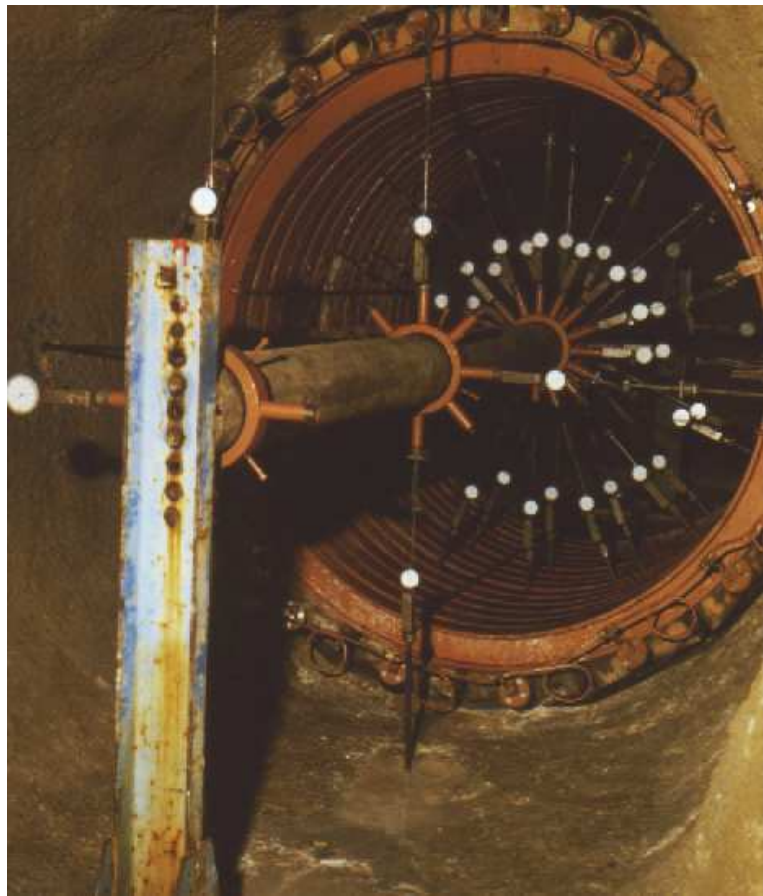
Göflan Nr. 80, I-39028 Schlanders

Wien, im Mai 2006

Danksagung

Ich möchte mich in erster Linie bei meinen Eltern für die Unterstützung und das Vertrauen während des gesamten Studiums bedanken.

Weiteres gebührt der Dank auch folgenden Personen, die mich bei dieser Arbeit unterstützt haben: Michael Linser (TIWAG), Ewald Tentschert (Inst. für Ingenieurgeologie), Rainer Dibiasi, Peter Pohl (EDV).



Zusammenfassung

Die Radialpresse ist ein Messgerät zur Ermittlung von Gebirgsparametern. Das Gebirge wird in einem Versuchsstollen belastet und es werden die ausgelösten Verschiebungen gemessen. Diese Arbeit beschäftigt sich mit der Auswertung von Versuchen mit der Tiwag-Radialpresse. Es wird ihre Funktionsweise und die Vorgehensweise bei der Auswertung der Messwerte aufgezeigt. Dabei werden verschiedene Einflüsse betrachtet, welche das Messergebnis beeinflussen können und deshalb in der Auswertung berücksichtigt werden müssen. Außerdem werden die ergänzenden Messungen für die Interpolation zwischen den Messstellen beschrieben.

Es wird versucht, einen Zusammenhang zwischen der Messgröße und den geologischen Gegebenheiten herzustellen. Hierbei wird vor allem der Einfluss der Schieferung betrachtet, da die Schieferung im Gegensatz zur Klüftung bereits

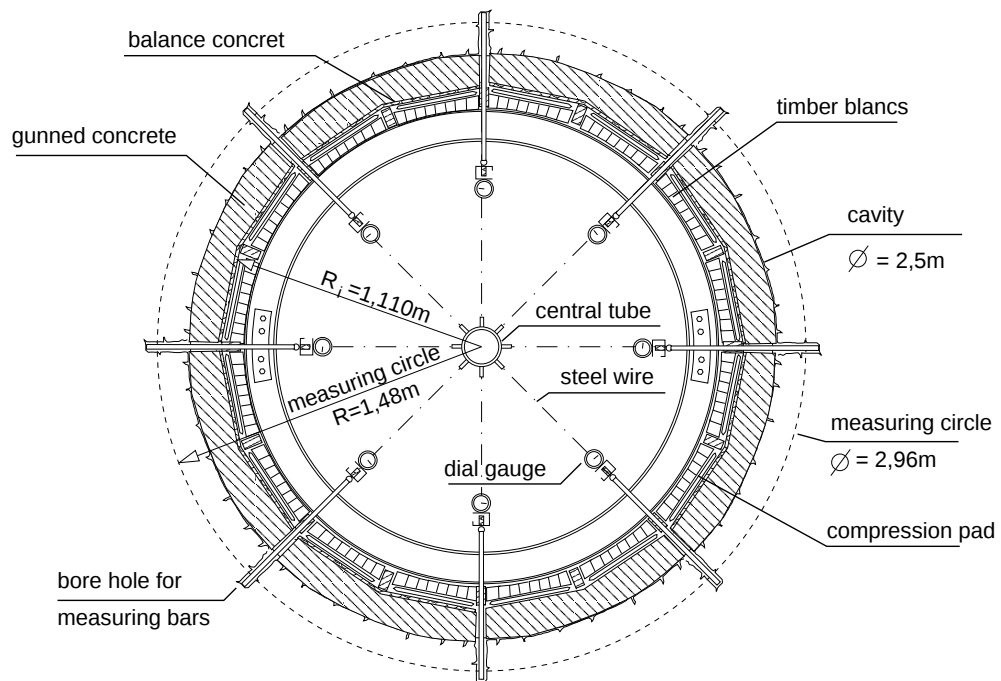
bei der Planung abgeschätzt werden kann und für einen bestimmten Bereich als konstant angesehen werden kann. Es stellte sich heraus, dass andere geologische Parameter den Einfluss der Schieferung stark überlagert. In den betrachteten Messstellen ist zwar ein Trend erkennbar, er ist aber schwächer als erwartet und die Werte streuen stark.

Für zehn Messstellen werden die Gebirgskennwerte (E- und V-Modul) bestimmt, mit denen eine vereinfachte Bemessung der Panzerung durchgeführt wird. Anhand dieser Bemessung werden die Auswirkungen sichtbar, welche durch die Art der Auswertung (Mittelwertbildung, Vereinfachungen, maßgebende Moduli, ...) verursacht werden. Weiteres wird eine Anpassung des maßgebenden Parameters vorgeschlagen, wodurch eine zusätzliche Reduktion der Ausbaumaßnahmen erreicht werden kann. Die Reduktion der Auskleidung durch die Berücksichtigung der Gebirgsmitwirkung ist in Bereichen mit gutem Gebirge relativ groß, während sie in Zonen mit schlechtem Gebirge vernachlässigbar gering bleibt.

Abschließend werden noch Möglichkeiten aufgezeigt, wie man die Effizienz der Radialpressenmessung durch Adaptierung auf den heutigen Stand der Technik steigern könnte. Elektronische Steuerung der Messeinrichtung, moderne Datenübertragung und geeignete Software ermöglichen umfangreichere Ergebnisse bei gleichzeitiger Verkürzung der Messdauer und Reduktion der Kosten.

Abstract

The radial jack is a measuring instrument for determining the parameters of the mountain range. From a gallery it indicates pressure directly into the rock mass and measures the resulting deformations. This work deals with the evaluation of experiments by the TIWAG radial jack. It shows its functional mode and the handling of determining the measured values. Moreover it inspects the influences, that take effect on the data and that have to be taken into consideration. Besides, there are specified measuring methods for the interpolation of the values between the control points.



It's an effort of showing the connection between the measured values and the geological conditions. Primarily the influence of the cleavage is analyzed, because cleavage is terminable before excavating and it is constant in a certain area. This for example does not apply for joints and their properties. The conclusion is that other geological parameters have often greater influence on the measuring values than cleavage. For the analyzed stations it was able to estimate a trend of the

influence but it was poor.

There is a determination of the characteristic values (E-modulus, V-modulus) of the mountain range by which a simplified dimensioning of the armoring is made. By means of this, there are pointed out the consequences of this kind of evaluation. Depending on the kind of evaluation and because of a hypothetical adaptation, the important modulus can be increased. Thereby a reduction of the support materials is possible which can be strong in zones with good rock quality and is nearly none in poor rock.

Finally some possibilities will be given for improving the efficiency of the radial jack, by adjusting to today's technical standard. Electronic instrumentation of the measuring equipment, modern data transfer and proper software allow better measuring results by lower costs in less time.

Inhaltsverzeichnis

Kapitel 1	Problematik	1
Kapitel 2	Zielsetzung	5
2.1	Aufbereiten der Messergebnisse	5
2.2	Auswertung der Messergebnisse	5
Kapitel 3	Einsatz der Radialpresse	7
3.1	Bisherige Erfahrungen	7
3.2	Allgemein	7
3.3	Maßstabseffekt (scale effect)	10
3.4	Radialpressenversuch im Druckstollenbau	12
3.5	Berechnungsverfahren	12
Kapitel 4	Die Messeinrichtung	14
4.1	Allgemein	14
4.2	Aktuelle Form	14
Kapitel 5	Die Messung	17
5.1	Vorbereitung	17
5.2	Gemessene Größen	17
5.3	Messablauf	17
5.4	Praktische Durchführung der Messung	19
Kapitel 6	Projektbeschreibung	21
6.1	Kraftwerk Sellrain-Silz: Oberstufe	21
6.1.1	Allgemeine Anlagenverhältnisse	22
6.1.2	Geologie	23
6.1.3	Anordnung der Messstellen	23
6.2	Kraftwerk Sellrain-Silz: Unterstufe	23
6.2.1	Allgemeine Anlagenverhältnisse	23
6.2.2	Geologie	25

6.2.3	Anordnung der Messstellen	25
6.3	Kraftwerk Strassen-Amlach	26
6.3.1	Allgemeine Anlagenverhältnisse	26
6.3.2	Geologie	26
6.3.3	Anordnung der Messstellen	27
Kapitel 7	Berechnung der Arbeitslinien, E- und V-Modul	28
7.1	Umrechnung der Flächenpressung	30
7.2	Einfluss der kurzen Belastungslänge	31
7.3	Darstellung der Arbeitslinien	33
Kapitel 8	Abweichungen/Korrekturen	36
8.1	Verschiebung der Zentralachse	36
8.2	Messpunkt fällt aus	39
8.3	Druckkissen platzt	39
8.4	Fehlstelle	39
8.5	Quellung der Holzbohle	39
Kapitel 9	Ergebnisse	41
Kapitel 10	Weitere Messungen	45
10.1	Vorversuche	45
10.1.1	Bohrlochseismik	45
10.1.2	Bohrlochabpressversuch	47
10.1.3	Messungen an Gesteinsproben im Labor	47
10.2	Messungen im fertigen Stollen; Druckprobe	48
10.2.1	1. Druckprobe	48
10.2.2	2. Druckprobe	50
Kapitel 11	Einfluss von Geologie und Gefüge	54
11.1	Vorgehensweise bei Winkelberechnung	57
11.2	Ergebnisse	58
Kapitel 12	Maßgebender V-Modul	61
Kapitel 13	Bemessung der Stollenauskleidung	64
13.1	Analytisch- graphisches Bemessungsverfahren nach Seeber	64

	viii
13.2 Bemessung der Panzerung	69
13.2.1 Bemessung auf Innendruck	69
13.2.2 Bemessung auf Außendruck	70
13.3 Bemessungsergebnisse	71
Kapitel 14 Schlussbemerkung	74
Appendix A Begriffserklärungen	77
Appendix B Formelzeichen	81
Appendix C Abkürzungen	82
Appendix D Messstellen	84
Appendix E Datenträger	94
Abbildungsverzeichnis	96
Tabellenverzeichnis	98
Literatur	99

Kapitel 1

PROBLEMATIK

Zur Planung von Bauwerken, speziell für Hohlraumbauten im Fels, benötigt der Ingenieur konkrete Zahlen, welche das umgebende Gebirge beschreiben und als Eingangswerte für statische Berechnungen dienen. Nun ist das Gebirge keine homogene Masse, weshalb die Eigenschaften über kurze Distanzen schnell wechseln können, was es schwierig macht geologische Charakteristika präzise zu quantifizieren. Die Ermittlung der relevanten Gebirgskennzahlen ist ein iterativer Prozess mit unterschiedlichen Methoden und Versuchen, die mit fortschreitender Planung immer genauer werden (vergleiche Abb: 1.1). Sobald die Variantenzahl eines Projektes durch Geologen und Ingenieure auf wenige eingeschränkt ist, werden Klassifizierungssysteme (RMR, Q-System - [2], [3]) hilfreich, die dazu dienen, anhand von quantitativen und qualitativen Parametern, die Stützmittelausteilung in der jeweiligen Trasse zu bestimmen. Um bereits in einem frühen Planungsstadium auch Aussagen über die Gebirgsfestigkeit machen zu können, hat Hoek ein Verfahren entwickelt (GSI - Geological Strength Index), welches erlaubt, ausgehend von der Gesteinsfestigkeit und dem Zerlegungsgrad ungefähre Gebirgskennwerte zu ermitteln [22]. Im Laufe der Detailplanung und der Bauausführung werden diese Werte durch weitere Messungen und Versuche laufend aktualisiert und verfeinert bis schlussendlich relativ zuverlässige Parameter für die Stabilitätsuntersuchungen vorliegen.

Beim Auffahren eines unterirdischen Hohlraumes wird der vorhandene (primäre) Gleichgewichtszustand des Gebirges über eine Reihe von Zwischenzuständen, in denen Spannungsumlagerungen stattfinden, in einen neuen, sekundären Gleichgewichtszustand übergeführt. Dabei wird das den Hohlraum umgebende Gebirge durch Aktivierung eines Gebirgstragringes zu einem tragenden Bauteil. Folgende Grundsätze begünstigen die Ausbildung eines Gebirgstragringes:

Die Berücksichtigung der Gebirgsmitwirkung in der Berechnung setzt - unabhängig vom Berechnungsverfahren (analytisch oder durch finite Elemente) - die genaue Kenntnis des komplexen Gebirgsverhaltens voraus. Bei Belastung des Gebirges (z.B. Innendruck in einem Druckschacht) stellen sich Verformungen ein, welche elastische, plastische und zeitabhängige (Kriechen) Anteile haben. Auch verhält sich ein Gebirge durch Schichtung, Schieferung und Klüftung anisotrop.

Die Gebirgskennwerte werden mit speziellen Messverfahren ermittelt, die am besten direkt im betrachteten Gebirge durchgeführt werden und aufgrund der möglichen Anisotropie in mehrere Richtungen messen. Da sowohl Klüfte als auch Schichtung und Schieferung des Gesteins Auswirkungen auf die Festigkeit des Gebirges haben, sollte der Versuch einen möglichst großen Gebirgsbereich erfassen, um auch diesen Einfluss zu berücksichtigen. Geeignete Messeinrichtungen sind Lastplatte, Druckkammer und Radialpresse. Bei allen Messverfahren erhält man Spannungs-Dehnungsdiagramme aus welchen die Kenngrößen des Gebirges ermittelt werden. Dabei ist der Lastplattenversuch am einfachsten durchzuführen. Er erfasst die Gebirgsdeformation jedoch nur eindimensional und muss durch eine entsprechende Anzahl von Messungen vervollständigt werden. Der Druckkammerversuch ist zwar sehr genau und aussagekräftig, aber auch sehr aufwendig und wird daher nur in Ausnahmefällen angewandt. Der Radialpressenversuch stellt einen Lastplattenversuch in viele Richtungen gleichzeitig dar, wobei bei einem vertretbarem Aufwand gute Messergebnisse erzielt werden können.

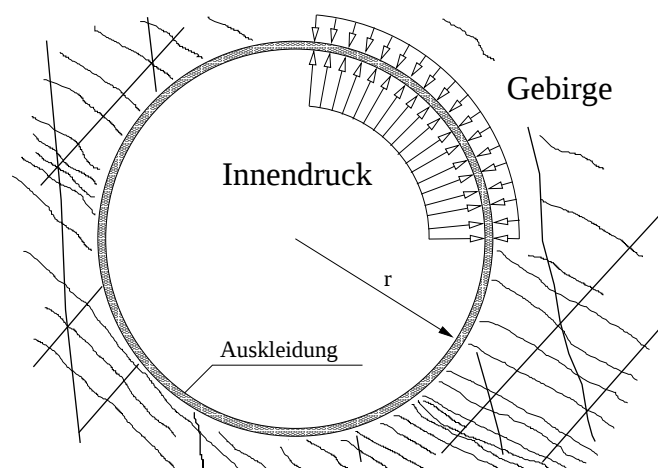


Abbildung 1.2: Druckverhältnisse im Druckstollen

Die TIWAG-Radialpresse wurde bei größeren Bauvorhaben im Festgestein zur Bestimmung der Gebirgseigenschaften eingesetzt:

- Druckstollen, Druckschächte: KW Kaunertal, Sellrain-Silz, Strassen-Amlach
- Kavernen: Pumpspeicherkraftwerk Vianden (Lux)
- Sperrenbau: Sperre Kölnbrein
- Flusstauwerke: Donau-KW Greifenstein

Besonders im Druckstollenbau ist der Einsatz der Radialpresse optimal, da er die tatsächlichen Belastung durch den Innendruck nahezu als 1:1 Modellversuch darstellt. Im Gegensatz zu einem freiliegenden Rohr, wo die Rohrwand den gesamten Innendruck aufnimmt, wird bei einem Druckstollen bzw. Druckschacht im Gebirge ein Teil des Innendrucks vom Gebirge aufgenommen. Durch die Gebirgsmitwirkung kann die Rohrwand schlanker dimensioniert werden. Eine dünnere Rohrwand bringt nicht nur eine Materialeinsparung, sondern es wird auch der Transport (leichtere Segmente) und der Einbau (Schweißen der Panzerung) der Auskleidung erleichtert.

bungsverteilung anhand der vorliegenden geologischen Verhältnisse in den Messstellen zu erklären. Dabei soll untersucht werden, in welchem Maß die Verschiebungen der einzelnen Messrichtungen mit der Lage der Schieferungs- bzw. Kluftflächen zusammenhängen.

Für die oben genannten Kraftwerksprojekte wurden umfangreiche Voruntersuchungen, begleitende Messungen und Belastungsversuche am fertigen Stollen durchgeführt. Es werden die Messverfahren kurz beschrieben und die Ergebnisse mit jenen der Radialpressenmessungen verglichen.

Die angenommene Gebirgsmitwirkung aus den Radialpressenmessungen wird mit der tatsächlichen - in den Druckproben am fertigen Stollen festgestellten - Gebirgsmitwirkung verglichen, und es werden Überlegungen angestellt, wie man die Prognose im vorhinein genauer auf die realen Verhältnisse anpassen kann.

Anschließend wird die Auswirkung der Bemessungsparameter auf die Dimensionierung der Panzerung untersucht. Dazu werden die Moduli innerhalb der Extremwerte variiert und die Panzerung mit Hilfe des grafischen Bemessungsverfahrens nach Seeber berechnet.

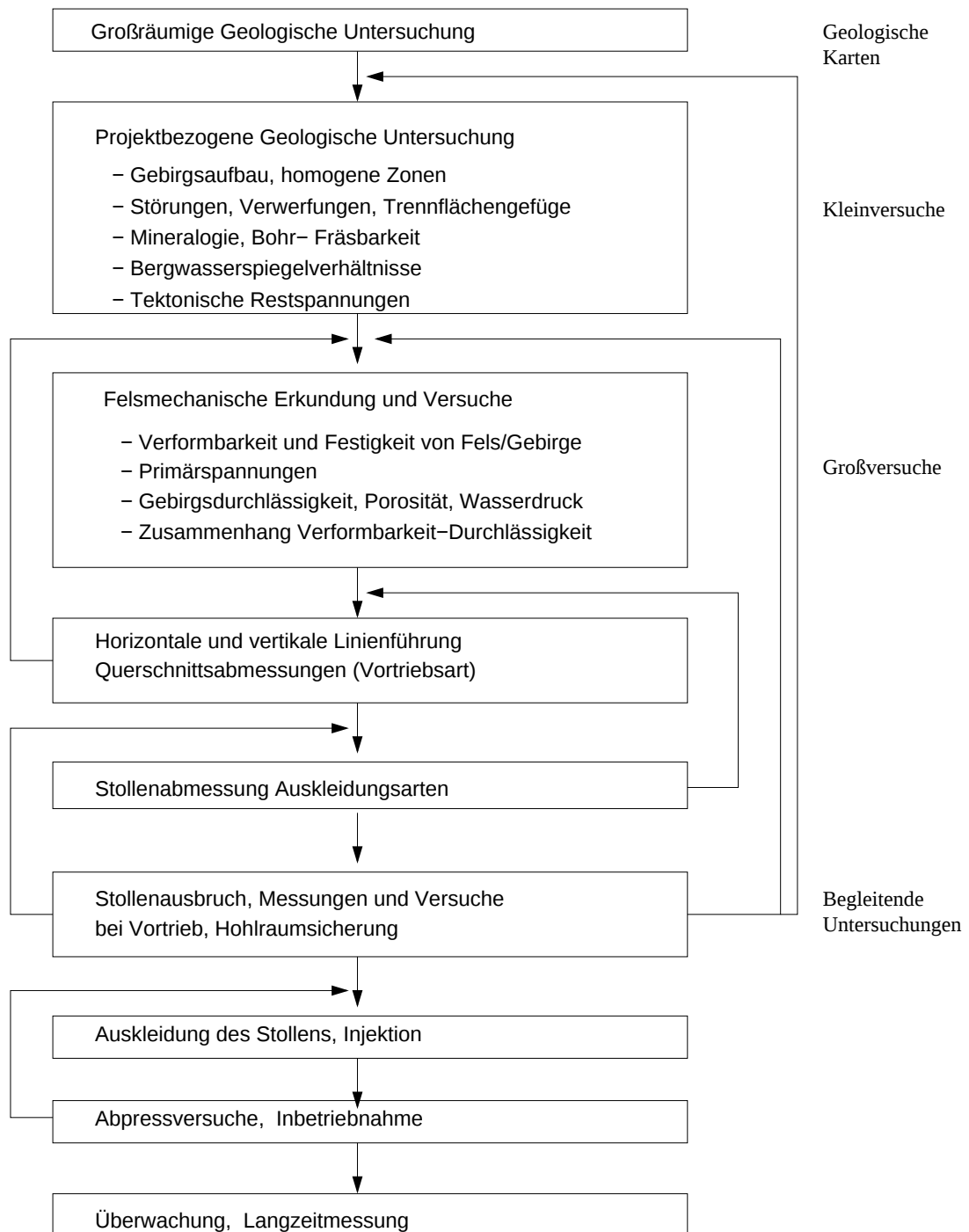


Abbildung 3.1: Ablaufschema für den Entwurf einer Triebwasserleitung [17]

”Mit diesen hochentwickelten Programmen ist man zwar in der Lage, auch komplizierte Strukturen und Stoffgesetze zu verarbeiten, doch erfordern diese Stoffgesetze auch entsprechende Parameter und Kennwerte, (...). Die Güte des Rechenergebnisses hängt auch heute immer noch von der richtigen Annahme der felsmechanischen Kennwerte und der richtigen Erfassung der verschiedenen bautechnischen Einflüsse ab, und erst in zweiter Linie von der Rechenmethode. Nachdem die Rechenmethoden bereits sehr weit entwickelt sind, muss in Zukunft mehr Augenmerk auf die Erfassung der Gebirgsverhältnisse einschließlich des rheologischen Verhaltens gelegt werden.” [1]

”Aus wirtschaftlichen und technischen Gründen ist eine möglichst große statische Gebirgsmitwirkung erwünscht. Von der Tatsache (siehe [6]) ausgehend, dass die Gebirgsmitwirkung nur von der Ringzugspannung in der Auskleidung, der Spaltweite und der Nachgiebigkeit des Gebirges abhängig ist, wird ein sehr einfaches Bemessungsverfahren abgeleitet.” [6]

Dieses Bemessungsverfahren wurde von G. Seeber (Innsbruck) entwickelt und kann zur Bemessung von vorgespannten Betonauskleidungen und Stahlauskleidungen gleichermaßen verwendet werden. Es handelt sich dabei um ein analytisch-grafisches Verfahren, welches die Gebirgsmitwirkung und auch Vorspanninjektionen berücksichtigt. Die in das Diagramm einfließenden Arbeitslinien bestimmen die nötigen Ausbaumaßnahmen und sollten möglichst realitätsnah sein. (siehe Abschnitt 13.1) Da in erster Linie die Messergebnisse aus den Gebirgsuntersuchungen die Zuverlässigkeit der Auskleidungs-Bemessung garantieren und nicht so sehr das Berechnungsverfahren, habe ich mich entschlossen, das Berechnungsverfahren von Seeber für die vergleichende Bemessung zu verwenden. Dieses Bemessungsverfahren hat auch den Vorteil, dass es auf Radialpressenmessungen angepasst ist und die Messdaten aus der Radialpressenmessung direkt in das Bemessungsdiagramm einfließen.

Das Zentralrohr ist so lang (rd. 6 m), dass es außerhalb des Einflussbereiches der Belastung abgestützt werden kann. Die Druckkissen aus Stahlblech können mit Drücken bis zu 100 bar belastet werden, was, da sie nicht den vollen Umfang bedecken, einem vergleichmäßigen Druck von 70 bar entspricht. Somit kann die Arbeitslinie bis zu Drücken gemessen werden, die der Felsbelastung auch sehr hoch beanspruchter Druckschächte entspricht, so dass sie nicht in den unsicheren Bereich höherer Drücke extrapoliert oder umgerechnet werden muss.”[1]

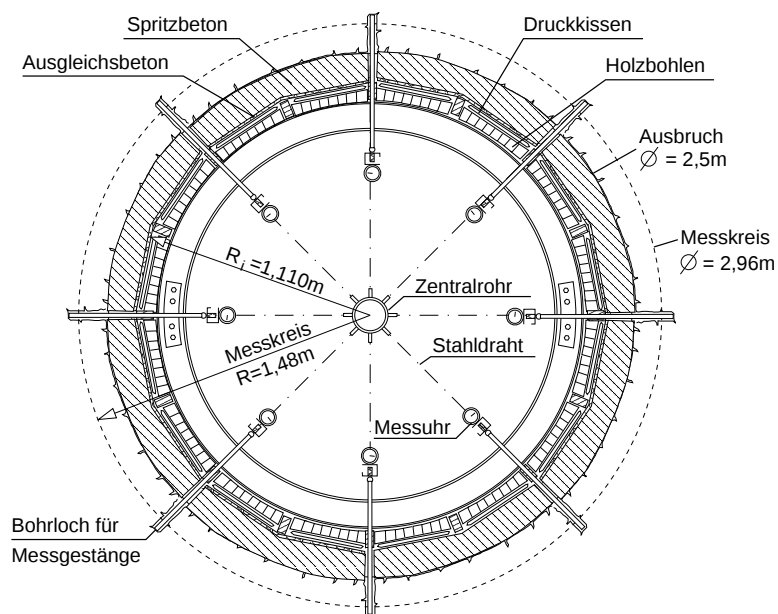
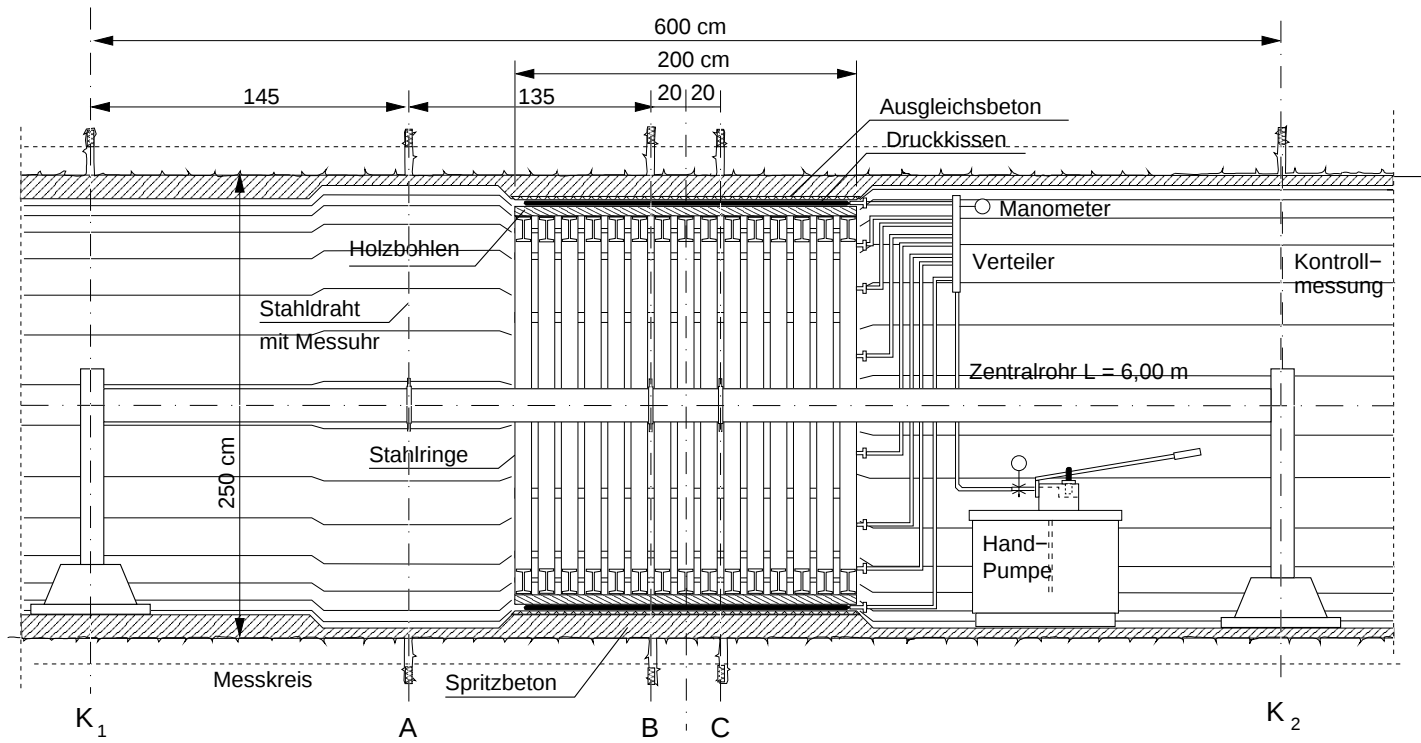


Abbildung 4.1: Querschnitt der Radialpresse

Abbildung 4.2: Längsschnitt der Radialpresse



$K_{1/2}$ Kontrollquerschnitte

A,B,C Messquerschnitte

Belastungsgeschwindigkeit ist abhängig von der Felsqualität. Bei gutem, elastischem Fels kann sie so hoch sein, wie sie von der Pumpe aufgebracht werden kann. Weicheres, kriechendes Gebirge sollte möglichst langsam belastet werden und der Druck in jeder Druckstufe so lange gehalten werden, bis innerhalb einer Stunde keine Verschiebung mehr messbar ist. Nach jeder Druckstufe wird der Druck auf etwa Null abgesenkt (Null-lesung) und anschließend stufenweise bis zur nächsten Druckstufe erhöht. Bei der höchsten Druckstufe wird ein Dauerversuch angeschlossen.”[1]

”Spannungsumlagerungsvorgänge, insbesondere wenn sie mit Brucherscheinungen verbunden sind, spielen sich über längere Zeiträume ab (Wochen bis Monate). Es ist daher erforderlich, im Versuch den Druck solange aufrecht zu erhalten, bis innerhalb von 24 Stunden keine Änderung mehr messbar ist. Würde man bei jeder Druckstufe solange warten, würde der Versuch in vielen Fällen zu lange dauern. Man geht deshalb so vor, dass der Dauerversuch nur am Ende des Versuchs in der höchsten Druckstufe ausgeführt wird. Die Verschiebung aus diesem Dauerversuch (u_D) wird dann proportional zum jeweiligen Druck den „Kurzmesswerten“ zugerechnet. Man erhält damit eine Arbeitslinie für die Erst- und Kurzzeitbelastung sowie für die Dauerbelastung. Letztere ist jene Arbeitslinie, die i.A. für die Bemessung von Druckstollenauskleidungen und Panzerungen maßgebend ist.”[1]

