

Zeitschrift: Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 73 (1981)
Heft: 4

Artikel: Auftriebs- und Wasserdurchsickerungsverhältnisse bei den Staumauern der Kraftwerke Vorderrhein, Linth-Limmern und Sarganserland
Autor: Venzin, Christian
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-941315>

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: 04.04.2025

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

Auftriebs- und Wasserdurchsickerungsverhältnisse bei den Staumauern der Kraftwerke Vorderrhein, Linth-Limmern und Sarganserland

Christian Venzin

Zusammenfassung

Als Ergänzung zu den Referaten von Prof. E. Schnitzler über die Staumauer Gigerwald und J. Leuenberger über die Staumauer Sta. Maria werden hier zusätzliche Informationen über die Beobachtungen und Messungen bei diesen Staumauern vermittelt und ausserdem die Auftriebs- und Wasserdurchsickerungsverhältnisse bei den Staumauern Nalps, Curnera und Limmernboden geschildert.

Résumé: *Sous-pressions et suintements dans les barrages des aménagements Vorderrhein, Linth-Limmern et Sarganserland*

En complément des conférences du Professeur E. Schnitzler sur le barrage de Gigerwald et de J. Leuenberger sur le barrage de Sta. Maria, cet article renseigne sur les observations et les mesures concernant ces deux barrages et décrit les conditions qui règnent aux barrages de Nalps, Curnera et Limmernboden en ce qui concerne les sous-pressions et les suintements.

Summary: *Uplift and seepage at the dams belonging to the hydro power plants Vorderrhein, Linth-Limmern and Sarganserland*

Supplementary to the papers of Professor E. Schnitzler on the Gigerwald dam and of J. Leuenberger on the Sta. Maria dam, this article gives further information on the observations and measures made at the two dams and describes the conditions at the Nalps, Curnera and Limmernboden dams as regards the uplift and the seepage.

Riassunto: *La spinta idrostatica verso l'alto e l'infiltrazione presso le dighe degli impianti idroelettrici Vorderrhein, Linth-Limmern e Sarganserland*

In aggiunta alle relazioni del Prof. E. Schnitzler sulla diga di Gigerwald e di J. Leuenberger sulla diga di Sta. Maria si danno alcune informazioni supplementari concernenti le osservazioni e le misurazioni effettuate su queste dighe. Inoltre si espongono le condizioni riguardo alla spinta idrostatica verso l'alto e alle infiltrazioni per le dighe di Nalps, Curnera e Limmernboden.

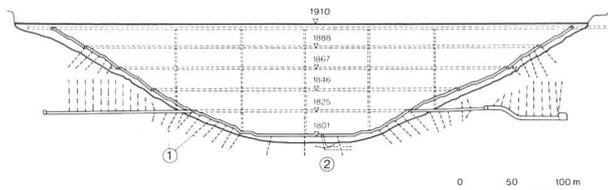


Bild 1. Das Drainagesystem der Staumauer Sta. Maria. Nach Beendigung der Dichtungsinjektionen im Felsuntergrund wurde entlang der Luftseite des Dichtungsschirms ein fächerförmiges System von Drainagebohrungen erstellt. Es verhindert, dass hohe Poren- und Klufwasserdrücke sich über grössere Felszonen ausbreiten.
1: 62 Bohrungen von 65 mm Durchmesser, Gesamtlänge 1550 m; 2: Drainagestollen

Allgemeines

Die Staumauern Curnera, Nalps und Sta. Maria (Kraftwerke Vorderrhein) sowie Limmernboden (Kraftwerke Linth-Limmern) und Gigerwald (Kraftwerke Sarganserland) sind Gewölbestaumauern mit einer gewissen Ähnlichkeit in Form und Grösse. Darum ist es interessant, die bei diesen Sperrern beobachteten Messresultate einander gegenüberzustellen. Die Hauptabmessungen der Bauwerke sind in der Tabelle 1 zusammengefasst, ebenso die beobachteten Höchstwerte der Verformungen, des Auftriebes und der Sickerwassermengen.

Auftrieb und Durchsickerungen in der Fundamentkontaktzone sind nicht nur von der Durchlässigkeit des Dichtungsschirmes und des unbehandelten, umliegenden Felsens, sondern auch von Art und Grösse der Fundamentverformungen abhängig.

Felsuntergrund: Verformung, Durchlässigkeit, Entwässerung

Die Staumauern Curnera, Nalps und Sta. Maria sind auf kristallinem Fels, vorwiegend auf Gneisen, gegründet. Der Felsuntergrund bei den Staumauern Limmernboden und Gigerwald besteht hauptsächlich aus Malmkalk, der bedeutend weniger verformbar und viel durchlässiger ist als Gneis. Dies bestätigen die beobachteten Deformationen. Bei den Durchsickerungen kommt jedoch die unterschiedliche Dichtigkeit der Gesteinsarten nicht zum Ausdruck, weil man beim durchlässigeren Kalk umfangreichere Dichtungs- und Konsolidationsinjektionen ausgeführt hat, um bei allen Staumauern ungefähr den gleichen Dichtigkeits- und Verfestigungsgrad zu erreichen.

Die vermehrte Beachtung der Auftriebs-, Poren- und Klufwasserdrücke nach dem Unglück bei der Staumauer Malpasset hat dazu geführt, dass man bei den neueren Staumauern Sta. Maria und Gigerwald bereits im Bauprojekt Felsentwässerungsmassnahmen eingeplant hat (Bild 1, Drainagesystem der Staumauer Sta. Maria). Beim Bau der übrigen, älteren Staumauern waren solche Vorkehren noch nicht üblich und auch nicht unbedingt notwendig, weil die Felswiderlager bei diesen nicht so schlanken Bauwerken weniger stark beansprucht sind und die vorhandenen Erschliessungstollen den luftseitig an den Dichtungsschirm anschliessenden Fels recht gut entwässern (Bild 2, Staumauer Curnera).

Tabelle 1. Maximale Verformungen, Auftriebsdrücke und Sickerwassermengen bei den Gewölbestaumauern der Kraftwerke Vorderrhein, Linth-Limmern und Sarganserland.

	Curnera	Nalps	Sta. Maria	Limmern	Gigerwald
1. Aufstau	1966	1961	1968	1962	1976
1. Vollstau	1968	1963	1968	1965	1977
Höhe der Krone über Meer	1958	1910	1910	1959	1337
max. Höhe der Mauer über Fundament	153	127	117	146	147
Länge der Krone	350	480	560	370	430
Mauerstärke im Mittelschnitt					
- UK Kronenplatte	m	7	7	8	9
- OK Fundamentverbreiterung	m	24	23	21	25
Verformungsmodul - Beton	t/cm ²	200	~ 200	200	300
- Felsuntergrund	t/cm ²	60 ÷ 120	~ 100	80	300
Maximale Verformungen im Mittelschnitt, aus Lot- und Klinometermessungen					
- Bezugsmessung bei leerem See im Jahre	1967	1963	1968	1963	1976
- maximale Durchbiegung der Mauer	63 (1905)	48 (1884)	161 (1906)	24 (1852)	42 (1325)
- Verschiebung auf Höhe des Injektionsganges	11 (1815)	5,5 (1785)	28 (1801)	1,5 (1717)	6 (1220)
- Kote der Schwimmlotheverankerung	1781	1760	1760	1677	1170
- Fundamentverdrehung (Neigungsänderung) auf Höhe des Injektionsganges	0,611 (1815)	0,461 (1785)	1,372 (1801)	0,112 (1717)	0,356 (1220)
Maximaler Auftrieb bei Vollstau, in der Talmitte, in % der entsprechenden Seesandhöhe	78	83	87	37	93
Maximale Sickerwassermenge in den letzten Jahren					
- Kontrollgänge der Staumauer (ohne Drainagen)	l/s	1,4	0,2	0,1	0,3
- Drainagebohrungen	l/s	*	*	*	0,5
- Total bei der Sperrstelle inkl. Felsuntergrund	l/s	*	6	8	-

* Keine Drainagebohrungen vorhanden

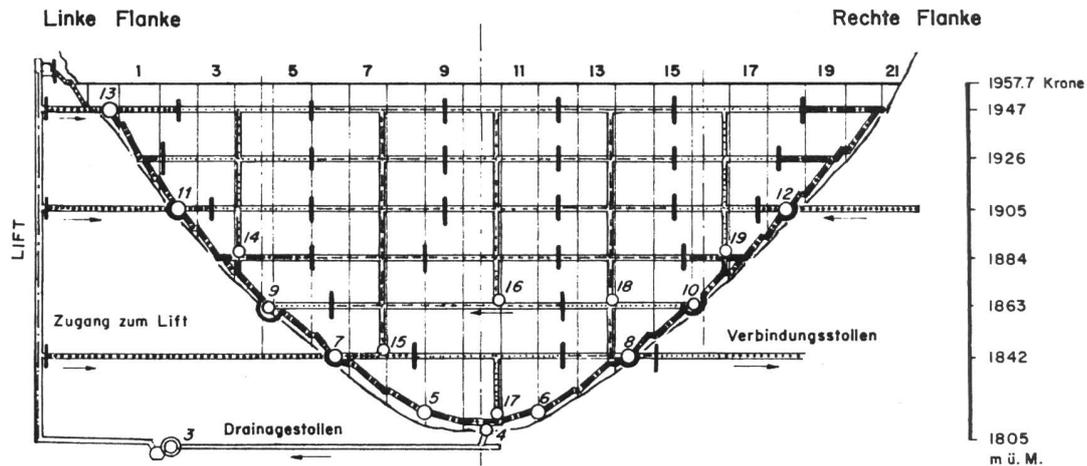
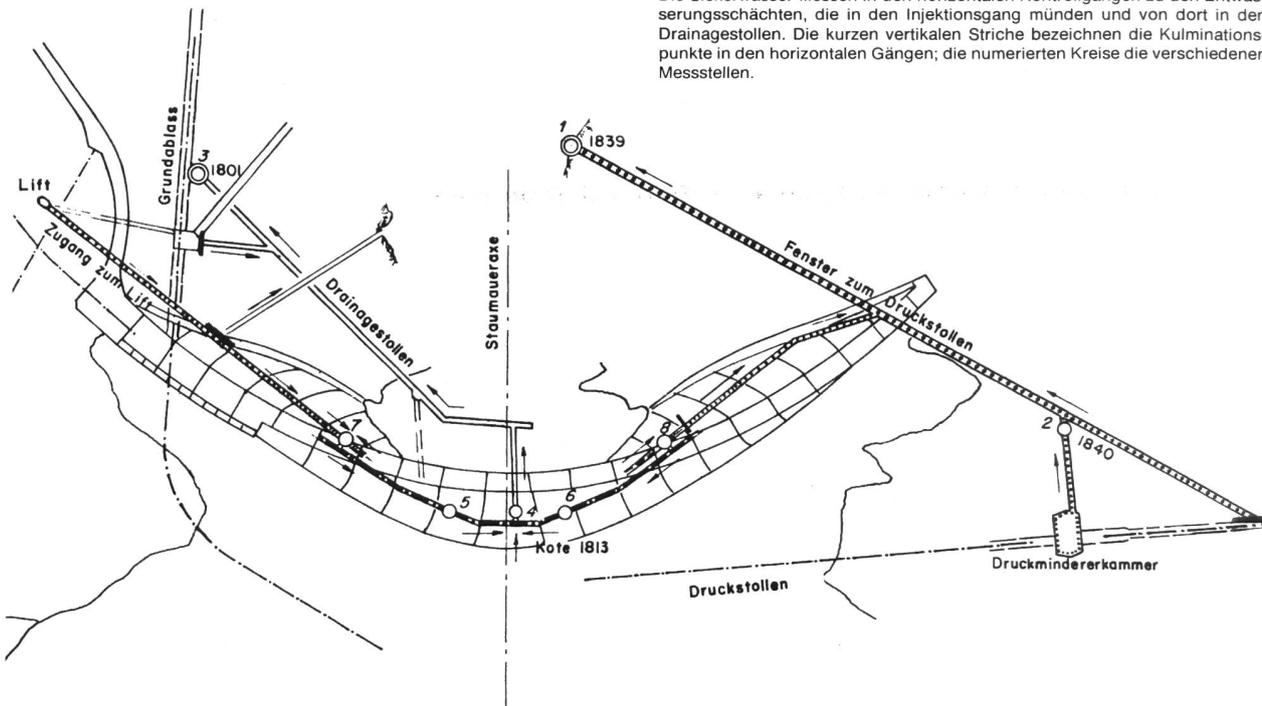


Bild 2. Anordnung und Einzugsbereich der Sickerwassermessstellen bei der Staumauer Curnera. Die Sickerwässer fließen in den horizontalen Kontrollgängen zu den Entwässerungsschächten, die in den Injektionsgang münden und von dort in den Drainagegestollen. Die kurzen vertikalen Striche bezeichnen die Kulminationspunkte in den horizontalen Gängen; die nummerierten Kreise die verschiedenen Messstellen.



Die entlastende Wirkung dieser Stollen wird mit zunehmender Durchlässigkeit des Felsens verstärkt, weil die geringen durch den Dichtungsschirm sickern den Wassermengen in der anschliessenden, nicht injizierten Zone mit grossem Sickergefälle in die drainierenden Durchörterungen des Gebirges abfliessen können.

Auftrieb

Der Auftrieb in der Fundamentkontaktzone wird in Druckmesszellen bestimmt, die man vom Injektionsgang aus mittels Bohrungen erstellt hat. Für jede Zelle wurde zuerst eine Bohrung bis nahe an die Kontaktfläche abgeteufelt, in diese ein Stahlrohr eingeschoben und der Zwischenraum zur Bohrlochwand mit Injektionsgut dicht verfüllt. Mit einer zweiten Bohrung wurde dann das Innere der Verrohrung durchbohrt und die Bohrung in den Felsuntergrund verlängert. Die unverrohrte Verlängerung bildet die Druckmesszelle, der verrohrte Teil die an einem Manometer angeschlossene Druckentnahmeleitung.

Mit einer Reihe von 5 bis 6 solcher, von der Wasserseite bis zur Luftseite verteilter Zellen wurde ein Messquerschnitt gestaltet, in dem die Druckverteilung vor und nach

dem Dichtungsschirm ermittelt wird. Die Aufnahme (Bild 3) zeigt die Anordnung der Messquerschnitte bei den Staumauern der Kraftwerke Vorderrhein.

Bei diesen Staumauern und bei der Sperre Limmernboden hat man die Messzellen in der damals üblichen Länge von 0,5 m erstellt. Aus den Messergebnissen war zu vermuten, dass diese Länge nicht ausreicht, um die vorhandenen Auftriebsdrücke in vollem Masse zu erfassen. Besonders die im Vortrag von *J. Leuenberger* geschilderten Beobachtungen bei der Staumauer Sta. Maria zeigen, dass Klüfte und feine Risse in der Fundamentkontaktzone beim Aufstau geöffnet werden können. Da dies nicht unmittelbar in der Kontaktfläche erfolgt, hat man bei der später errichteten Staumauer Gigerwald die Druckmesszellen zwei Meter tief gebohrt und dementsprechend höhere Drücke gemessen. Obwohl sich die Fundamentzone bei dieser Staumauer nur wenig verformt, hat man beim ersten Aufstau in den in der Talmitte angeordneten Messzellen feine, wasserführende Risse in verschiedenen Horizonten lokalisiert. Die Risse durchdringen mehrere Messzellen von der Wasserseite bis nahe an den luftseitigen Fundamentrand. Die in Nähe des betreffenden Messquerschnittes vorhandenen

Drainagebohrungen verhindern, dass sich der Druck auf eine grössere Fläche ausbreitet. Der geringe Wasserandrang in den umgebenden Drainagebohrungen bestätigt, dass die aufgerissene Zone eng begrenzt ist.

Wie sich die Auftriebsdrücke in der Fundamentkontaktzone im Laufe einer Stauperiode entwickeln, zeigt Bild 4 am Beispiel der bei der Staumauer Sta. Maria gemessenen Werte in den tiefstgelegenen Querschnitten auf Höhe der Talsohle. Die Lage der Querschnitte ist aus dem Bild 3 ersichtlich.

Die einzelnen Messungen – sie werden in der Regel einmal pro Monat ausgeführt – sind schematisch in vertikalen Streifen dargestellt. Auf diesen Streifen ist der jeweilige Seestand und die entsprechende Druckhöhe in den einzelnen Messzellen ersichtlich. Man kann nun sehen, wie sich die Drücke im Verhältnis zur Seestandshöhe entwickeln und wie sie sich im Querschnitt von der Wasserseite (links) bis zur Luftseite (rechts) verteilen.

Auffallend ist, dass die Drücke beim Querschnitt auf der linken Talseite sich nicht durchgehend von der Seeseite bis zur Luftseite vermindern. Ähnliche Verhältnisse zeigen sich auch bei einem weiteren Querschnitt der Staumauer Sta. Maria (Block 11) und teilweise bei den übrigen Sperren, was auch zu erwarten ist, weil die Durchlässigkeiten im Fels auf kleinsten Strecken variieren können. Ferner ist bei den dargestellten Messwerten nicht zu übersehen, dass auf der rechten Talseite (Block 22) – infolge der grösseren Fundamentverformungen – weitaus höhere Drücke angezeigt werden.

Aus der Darstellung ist zu erkennen, wie die Drücke gesamthaft gesehen während des Aufstauens weniger stark anwachsen als die Höhe des Seestandes, dann aber beim länger andauernden Vollstau, das heisst bei annähernd gleichbleibender Stauhöhe, weiter zunehmen, weil auch die Fundamentverformungen infolge sinkender Tempera-

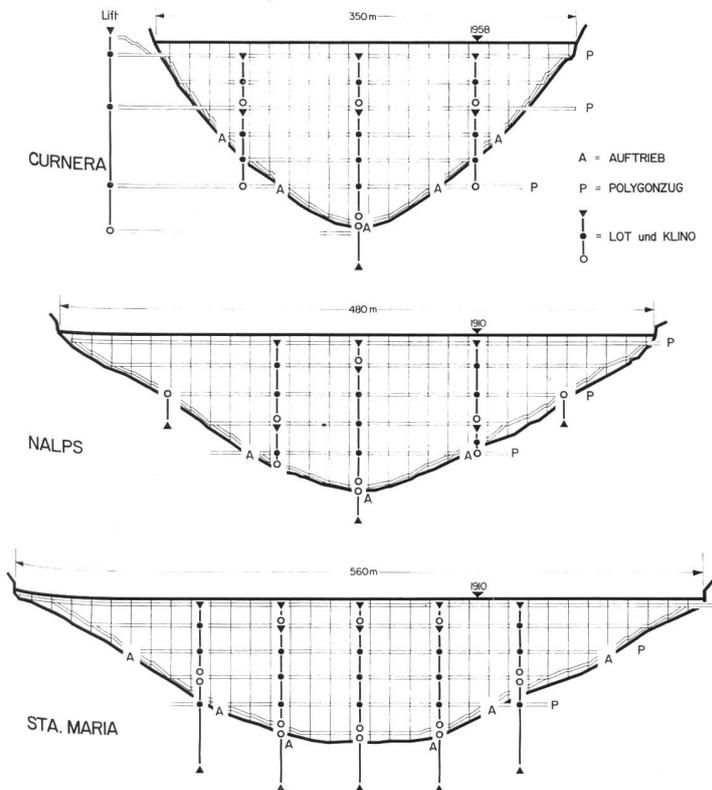
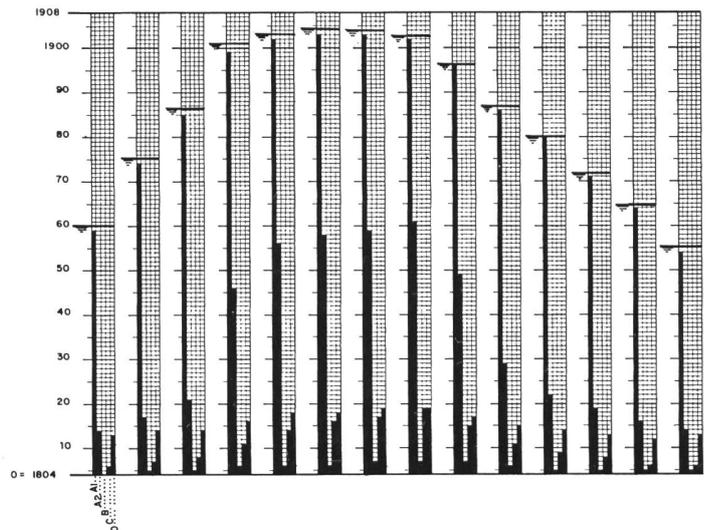


Bild 3. Auftriebs- und Verformungsmesseinrichtungen bei den Gewölbstaumauern Curnera, Nalps und Sta. Maria der Kraftwerke Vorderrhein, (aus «Wasser- und Energiewirtschaft» 62. (1970) Heft 7/8, Seite 212).

Messung	246	247	248	249	250	251	252	253	254	255	256	257	259	260
Datum	23.5.78	19.6.78	19.7.78	16.8.78	11.9.78	12.10.78	8.11.78	5.12.78	2.1.79	31.1.79	28.2.79	27.3.79	25.4.79	23.5.79



zum oberen Schema
Linke Talseite
Block 14, 1804

zum unteren Schema
Rechte Talseite
Block 22, 1804

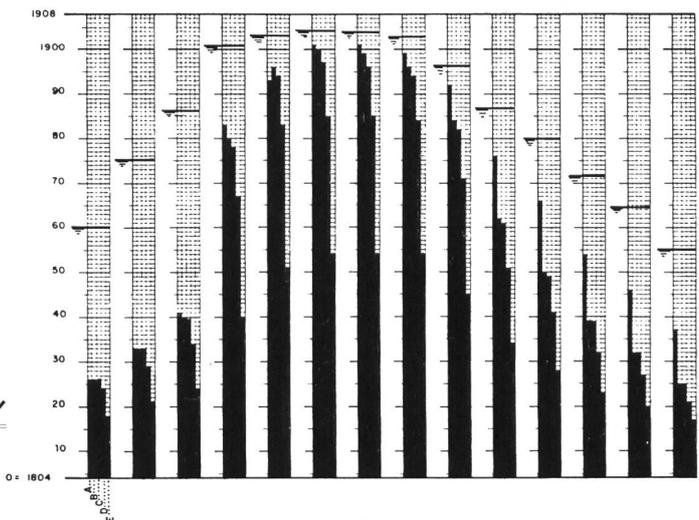
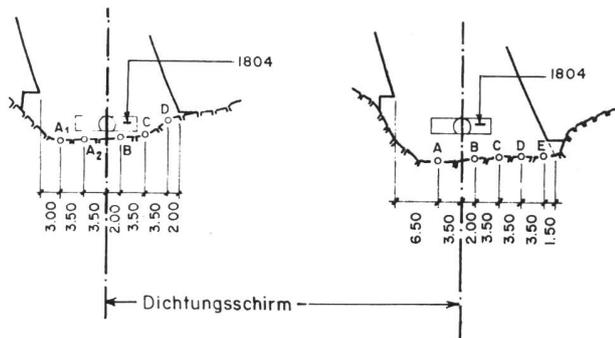


Bild 4. Auftriebsdrücke in den untersten Messquerschnitten bei der Gewölbstaumauer Sta. Maria während der 11. Stauperiode 1978/79. In den Streifen ist die Druckverteilung von der Seeseite (links) zur Luftseite und darüber der Seestand dargestellt. Auf der linken Talseite bewirkt der Dichtungsschirm einen starken Druckabfall. Auf der rechten Talseite sind die Drücke bedeutend höher. Hier werden infolge der Fundamentverformungen beim Aufstau in der Felskontaktzone von der Seeseite her Klüfte aufgerissen, die den Dichtungsschirm durchdringen. Bei der Absenkung schliessen sich diese Klüfte grösstenteils wieder.

turen sich weiter vergrössern und die Risse und Klüfte sich noch weiter öffnen. Den Höchstwert erreicht der Auftrieb, wie die Verformungen, oft einige Zeit nach Beginn der Absenkung, weil die sinkenden Temperaturen im Bauwerk noch eine Zeitlang derart grosse talwärts gerichtete Verformungen bewirken, dass der rückbildende Einfluss der sinkenden Stauhöhe sie erst später kompensiert und überwiegt.

Die bei den verschiedenen Staumauern ermittelten maximalen Auftriebskoeffizienten (mittlerer Auftrieb im Verhältnis zur entsprechenden Seestandshöhe) sind in der Tabelle 1 zusammengestellt. Die höchsten Werte ergeben

sich bei den Staumauern Sta. Maria und Gigerwald, obwohl bei diesen Drainagesysteme zur Verminderung des Auftriebes erstellt worden sind. Hier zeigt sich eindrücklich, dass man mit solchen Massnahmen den Auftrieb in der Fundamentkontaktzone nicht beliebig vermindern kann, zumindest nicht dort, wo sich Risse und Klüfte regelmässig in jährlichen Zyklen öffnen und schliessen. Zusätzliche Drainagebohrungen in solchen Zonen würden infolge des grossen Wasserandranges nur eine sehr beschränkte Druckentlastung herbeiführen. Dichtende Verfüllungen der Risse würden das Kräfte- und Verformungsspiel in unzulässiger Weise stören.

Messung	92	93	94	95	95	97	98	99	100	101	102	103	104	105
Datum	1.5.78	5.6.78	3.7.78	2.8.78	5.9.78	3.10.78	2.11.78	4.12.78	2.1.79	30.1.79	2.3.79	30.3.79	1.5.79	5.6.79

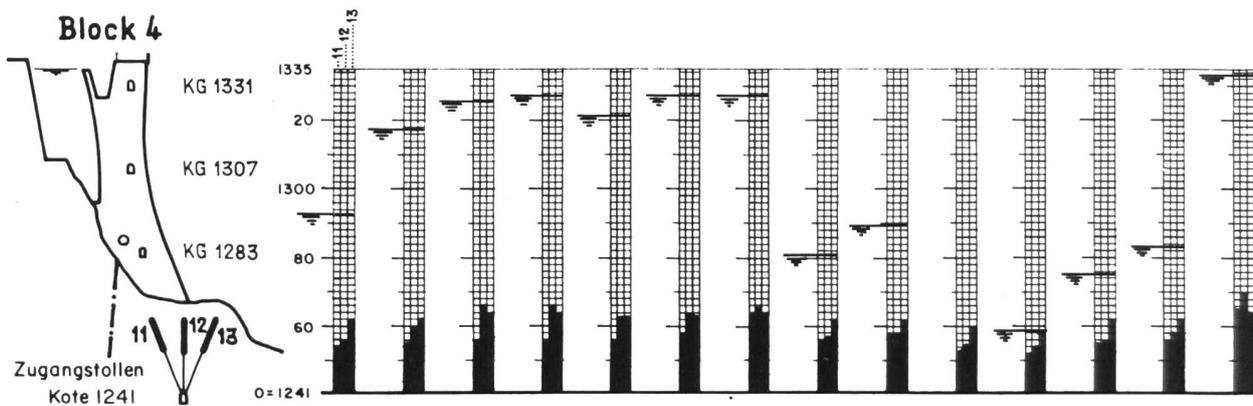
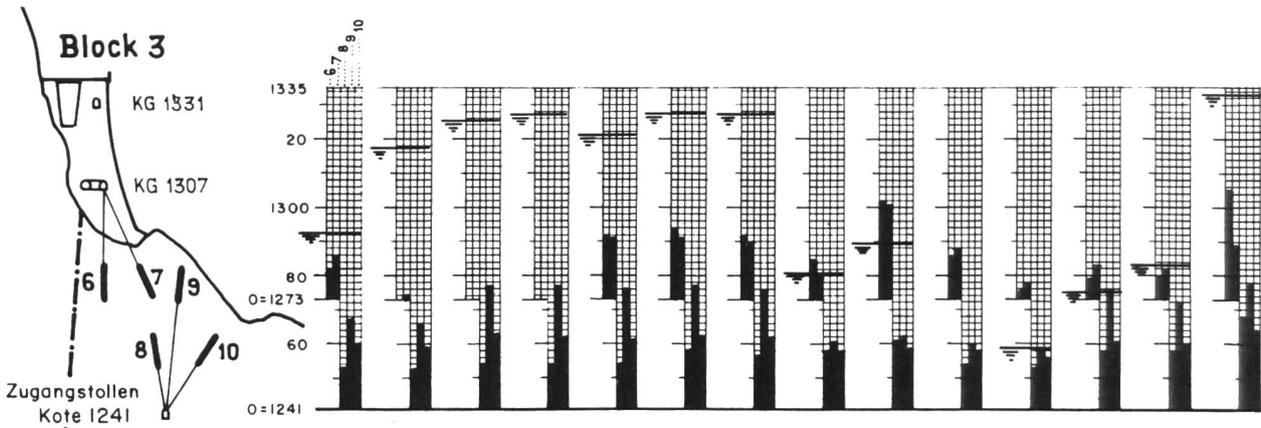
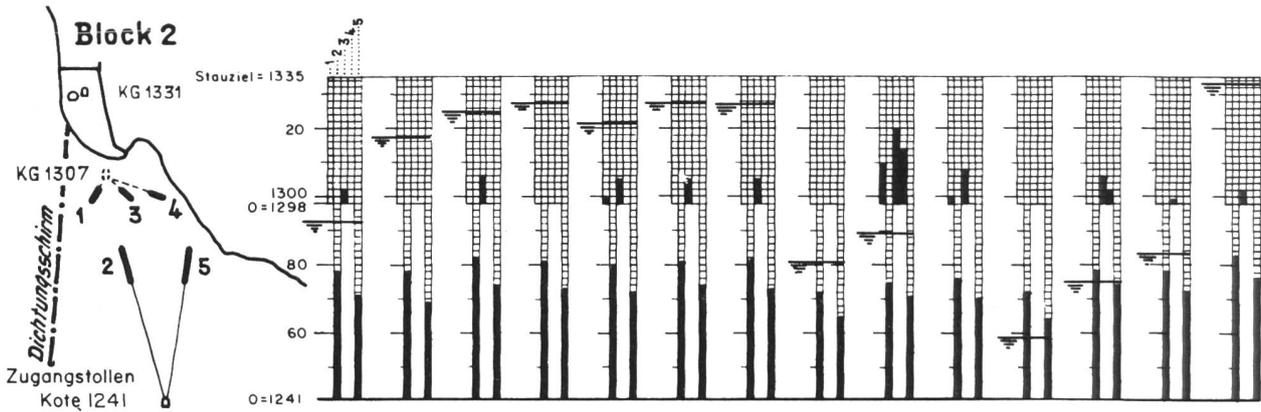


Bild 5. Staumauer Gigerwald, Wasserdruck im Fels des linksufrigen Widerlagers während der 3. Stauperiode 1978/79. Das Bild zeigt die in drei Querschnitten angeordneten Messzellen (1 bis 13) und daneben die Druckhöhen mit dem entsprechenden Seestand. Die verschiedenen Kluftsysteme im Gebirge bilden Zonen von stark wechselnder Durchlässigkeit, so dass sich kein gleichmässig zusammenhängender Bergwasserspiegel einstellt. Das Bergwasser wird hauptsächlich von direkt einsickerndem Meteorwasser gespeisen. Demzufolge steigen die Druckhöhen zeitweise weit über den Horizont des Wasserspiegels im Stauee.

Entscheidend ist, dass die Zonen hohen Druckes auf engem Raum begrenzt werden. Dies kann, wo der Fels sich nicht selbst genügend entwässert, mit systematischen Drainagebohrungen erreicht werden. So betrachtet erhöhen die Drainagesysteme die Sicherheit der betreffenden Staumauern in wesentlichem Masse, auch wenn sich dies nicht in den vorliegenden Messergebnissen abzeichnet. Denn die Drainagesysteme entwässern und entlasten besonders den Felsuntergrund unterhalb der Fundamentkontaktzone und in den Felsflanken, auf denen sich die Staumauern abstützen.

Poren- und Klufthwasserdrücke im Felsuntergrund

Messeinrichtungen zur Bestimmung der Wasserdrücke, die sich im Felsuntergrund bzw. in den Felswiderlagern aufbauen, sind nur bei den Staumauern Gigerwald und Limmernboden vorhanden. Die Messzellen wurden in der gleichen Art wie für die Auftriebsmessung mit Bohrungen gebildet. Die Einrichtungen bei der Staumauer Gigerwald sind im Beitrag von *E. Schnitzler* beschrieben und im Bild 5 mit den Messergebnissen schematisch dargestellt. Im gleichen Messquerschnitt sind die Messzellen teilweise übereinander auf verschiedenen Horizonten angeordnet. Aus den angezeigten Drücken ist ersichtlich, dass das Wasser die Felsflanke in verschiedenen, voneinander unabhängigen Strängen durchströmt, was in Anbetracht der vorhandenen Klüftungssysteme nicht verwunderlich ist. Deutlich zeigen die Messergebnisse, dass die Druckverhältnisse nur in beschränkter Masse von den Stauchschwankungen beeinflusst werden und dass die Druckhöhen bei den höhergelegenen Messstellen infolge direkt ins Gebirge einsickerndem Meteor- und Schneeschmelzwasser zeitweise auf ein Niveau ansteigen, das bedeutend höher liegt als der Wasserstand im Stausee. Die einzelnen Drainagebohrungen führen jeweils auch bei hohen Drücken nur wenig Wasser, gesamthaft höchstens 0,5 l/s. Daraus darf man schliessen, dass die Drainagebohrungen ihren Zweck erfüllen und den Fels wirksam entwässern.

Eine ebenso wirksame Entlastung ergaben vereinzelt Druckmessungen in Drainagebohrungen bei der Staumauer Sta. Maria, wo man hierfür systematisch ausgewählte Bohrungen bei der Mündung zeitweise verschlossen hat. Der Wasserandrang aus allen Bohrungen erreicht im Maximum 0,4 l/s.

Bei der Staumauer Limmernboden, wo keine speziellen Drainagen vorhanden sind, folgen die Drücke in beiden Talflanken regelmässig den Stauspiegelschwankungen. Die Drücke erreichen dort infolge der hohen Drainagewirkung des Felsens mittlere Höchstwerte, die höchstens 15% der Seestandhöhe entsprechen. Die Messhorizonte liegen 46 und 115 m unter der maximalen Staukote. Die Messzellen sind unmittelbar in der luftseitigen Randzone und in der Flucht des Dichtungsschirmes angeordnet.

Sickerwasserandrang

Die Sickerwassermessanlagen sind derart gestaltet, dass die interessierenden Anteile des Wasserandranges, in Zonen unterteilt, bestimmt werden können (Beispiel siehe Bild 2, Staumauer Curnera). Ermittelt werden die durch den Staumauerbeton in die Kontrollgänge zufließenden Wassermengen, der Abfluss aus den Drainagebohrungen und der Wasserandrang in den einzelnen Erschliessungstollen. Die bei den verschiedenen Staumauern gemessenen grössten Sickerwassermengen während der letzten Jahre sind in der Tabelle 1 aufgeführt.

Die Durchsickerungen durch den Beton betreffen in bezug auf die Anzahl der Austritte vorwiegend undichte Block-

und Arbeitsfugen, mengenmässig hauptsächlich mangelhaft gestopfte Felsinjektionsbohrungen, die in den Injektionsgang münden und als erwünschte Drainagen der Fundamentkontaktzone wirken, dies besonders bei der Staumauer Curnera. Die Grösse dieser Wasserverluste ist belanglos. Bei der Inbetriebnahme der Bauwerke waren die Wasserdurchsickerungen im Beton bis zwei- oder dreimal grösser. Die ergiebigsten Austritte hat man damals mit Injektionen abgedichtet. Der Wasserandrang bei den übrigen Austritten hat sich dann im Lauf der Jahre vermindert, hauptsächlich infolge Versinterung des durchlässigen Betons und – bei den Austritten in die Injektionsgänge – infolge Verschlammung der Risse und Klüfte des Felsens in der Fundamentkontaktzone.

Ebenso haben Schlammablagerungen in den Stauräumen dazu geführt, dass sich die Abflüsse aus den Felsdrainagebohrungen bei den Staumauern Sta. Maria und Gigerwald allmählich verringert haben. Bei den Stauanlagen Nalps, Sta. Maria und Limmernboden sind einige hundert Meter unterhalb der Sperren im Bachbett Felsschwellen vorhanden, wo im Herbst die gesamten an die Oberfläche dringenden Durchsickerungen im Bereich der Sperrstellen bestimmt werden können, wenn sich günstige Witterungsverhältnisse bieten. Die Abflüsse erreichen kleine Werte von höchstens etwa 10 l/s.

Adresse des Verfassers: *Christian Venzin*, Nordostschweizerische Kraftwerke AG, NOK, CH-5401 Baden.

Überarbeiteter Vortrag, gehalten am 18. September 1980 anlässlich der Fachtagung über Talsperrenbeobachtung in Ilanz, Graubünden, organisiert vom Ausschuss für Talsperrenbeobachtung des Schweizerischen Nationalkomitees für Grosse Talsperren, SNGT.

Messen von Porenwasserdruck im Untergrund der Bogenstaumauer Zervreila

Niklaus J. Schnitter

Zusammenfassung

Die Untersuchung der Porenwasserdrücke im Untergrund der Bogenstaumauer Zervreila ergaben den Nachweis, dass die für die Stabilität einer Bogenstaumauer ausschlaggebenden luftseitigen Talflanken praktisch auftriebsfrei sind.

Résumé: Contrôle des pressions interstitielles sous le barrage voûte de Zervreila

La mesure des pressions interstitielles sous les fondations du barrage voûte de Zervreila ont prouvé, que les appuis rocheux avals sont pratiquement sans sous-pression

Summary: Control of pore water pressures at the Zervreila arch dam

The measurements of pore water pressures under the Zervreila arch dam have proven that the downstream rock abutments are practically free of uplift.

Riassunto: Pressione interstiziale nelle fondamenta della diga ad arco di Zervreila

Le misure della pressione interstiziale nel sottosuolo della diga ad arco di Zervreila hanno dimostrato che le imposte di valle, determinanti per la stabilità di questo tipo di diga, rimangono praticamente esenti da qualsiasi sottopressione.