

<b>Zeitschrift:</b>	Schweizer Ingenieur und Architekt
<b>Herausgeber:</b>	Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
<b>Band:</b>	97 (1979)
<b>Heft:</b>	18
<b>Artikel:</b>	Erfahrungen anlässlich der Inbetriebsetzung des Kraftwerkes Handeck III
<b>Autor:</b>	Trucco, G. / Delley, P.
<b>DOI:</b>	<a href="https://doi.org/10.5169/seals-85457">https://doi.org/10.5169/seals-85457</a>

### 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:** 23.02.2026

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

## Eigenbedarfsschaltanlagen

Beide Maschinengruppen sowie ein 5-MVA-Reguliertransformator zur Speisung des Eigenbedarfsnetzes sind über eine 13,5-kV-Schaltanlage an einen gemeinsamen 62-MVA-Haupttransformator 13,5/165 kV angeschlossen. Auf der 16-kV-Seite ist der 5-MVA-Reguliertransformator und der 630-kVA-Eigenbedarfstransformator über eine voll gekapselte 16-kV-Schaltanlage mit dem 16-kV-Versorgungsnetz des Aaretales verbunden.

### Eigenbedarfsschaltanlage

Für die 13,5-kV-Eigenbedarfs-Schaltanlage werden Druckluftschalter Typ DB verwendet. Die Druckluftschalter eignen sich sehr gut für das Zu- und Abschalten von hohen Leistungen in Kraftwerkanlagen. Die Schalter sind für Bodenmontage ausgeführt. Diese Bauweise ist meistens dort üblich, wo beide Ableitungen einer Phase nach oben geführt werden.

Im Druckbehälter wird die Druckluft, die für den Antrieb der Lichtbogenlöschung nötig ist, gespeichert. Der Schaltbefehl kann manuell oder automatisch gegeben werden. Eingeschaltet wird mit dem Trennmesser, während die Löschkontakte in Ruhestellung,

d. h. unter Federdruck geschlossen bleiben.

Beim Ausschalten öffnet sich der bewegliche Löschkontakt mit Druckluft gegen die Kraft der Kontaktfeder. Der entstandene Ausschaltlichtbogen wird nun mit der durch die offene Kontaktdüse strömenden Druckluft gelöscht. Die entstandene wiederkehrende Spannung zündet die Hilfsfunkenstrecke. Die Spannung wird durch den parallel zur Löschkammer geschalteten Widerstand so begrenzt, dass der Lichtbogen der Hilfsfunkenstrecke schon beim nächsten Nulldurchgang des Stromes mit Hilfe der Druckluft gelöscht wird. Die gut sichtbare Trennstrecke erlaubt jederzeit das eindeutige Erkennen der Schaltstellung, was ein zusätzlicher Schutz für Anlage und Personen bedeutet.

Die 16-kV-Eigenbedarf-Schaltanlage ist mit einer gekapselten Schaltanlage Typ BB1-SB 24 k 350 mit ölarmen Leistungsschaltern ausgerüstet. Der SB-Schalter ist ein ölarmer Leistungsschalter für den Mittelspannungsbereich bis zu mittleren Kurzschlussleistungen und normalen Schalthäufigkeiten. Der Schalter ist mit einem Kraftspeicherantrieb ausgerüstet.

Das Feld Typ BB 1 – SB ist als trennerloses gekapseltes Schaltfeld mit Einfachsammelschiene und für den Einbau eines steckbaren SB-Schalters gebaut. Das Schaltfeld besteht aus einer selbsttragenden Stahlblechkonstruktion;

Schalter- und Instrumentenräume sind durch geerdete Metallwände vollständig gegeneinander geschottet. Sammelschienen und Anschlüsse sind isoliert und mit zusätzlichem Sicherheitsabstand versehen.

In Betriebs- und Trennstellung sowie auch bei ausgefahrenem Schalter sind die spannungsführenden Teile durch geerdete Stahlblechverschalung gegen Berührung geschützt.

Der SB-Schalter ist auf einem Schaltwagen montiert, so dass er innerhalb des Feldes mit der Trenn- und Verriegelungsvorrichtung «Traloc» ein- und ausgefahren werden kann. In Trennstellung ragt der Antriebskasten des Schalters aus dem Schaltfeld. Dadurch ist die Trennstellung des Schalters gut sichtbar.

Beim Einfahren des Schalters in Prüfbzw. Trennstellung kuppeln die Steuerleitungen selbstständig. Der Schalter kann somit in Trennstellung elektrisch geprüft werden.

Zum Wechseln der Schalter in ein anderes Feld oder für Revisionen steht ein praktischer Revisionswagen zur Verfügung. Auf diesem Wagen lässt sich der Schalter, auch bei sehr engen Raumverhältnissen, gut manövrieren; zudem können auf ihm die Wartungsarbeiten bequem ausgeführt werden.

Adresse der Verfasser: R. Oberholzer, Ing. HTL, Prof. HTL, M. Fiorentz, dipl. Ing., W. Pantli, Ing. HTL und K. Jaun, Techniker, Brown, Boveri & Cie AG, 5400 Baden

## Erfahrungen anlässlich der Inbetriebsetzung des Kraftwerk Hagneck III

Von G. Trucco und P. Delley, Locarno

Mit der Inbetriebnahme des Kraftwerkes Hagneck III war zur Abgrenzung eines vernünftigen und wirtschaftlichen Betriebes dieser in ein bestehendes System eingefügten Anlage mit relativ komplizierter Wasserführung und vielfältigen Betriebsfällen eine grosse Zahl von Versuchen, Messungen und Untersuchungen erforderlich. Die durchgeführten Versuche bezweckten im wesentlichen die Ermittlung von Daten zur Überprüfung der getroffenen hydraulischen Berechnungsannahmen sowie die Beschaffung der zur Aufstellung der Betriebsbedingungen nötigen Unterlagen.

### Versuche

Eine erste Versuchsserie wurde am 15. Nov. 1974 durchgeführt; sie betraf

die *Messung der Druckverluste im Druckstollen Räterichsboden-Hagneckfluh*. Dieser ca. 3360 m lange Stollen war ursprünglich auf insgesamt 1693 m Länge, außer einer Betonsohle, unverkleidet. Nach dem Projekt des Kraftwerkes Hagneck III waren die bisher unverkleideten Stollenpartien zur Abminderung der Druckverluste mit abgeglättetem Gunit zu überziehen.

Im November 1974 waren von der zu verkleidenden Gesamtlänge von 1693 m, vorderhand 1166 m, d. h. rd. zwei Drittel fertig gunitiert; die durchgeführten Messungen bezweckten die *Ermittlung des Einflusses der neu aufgebrachten Gunitverkleidung auf die Druckverluste* sowie die Bestimmung der verschiedenen *Rauhigkeitsbeiwerte „k“ nach Strickler* für die einzelnen Stollenstrecken, soweit eine Unterteilung möglich war.

Die zweite in Aufbau und Durchführung gleichartige Versuchsserie wurde am 29. Juli 1975 nach Beendigung aller Gunitierungsarbeiten im Druckstollen durchgeführt. Sie verfolgte das gleiche Ziel, wie die vorhergehende Serie und erlaubte direkte Vergleiche, da die Messungen an den gleichen Punkten mit demselben Genauigkeitsgrad erfolgten.

Die dritte, anlässlich der provisorischen Inbetriebnahme durch die Maschinenlieferanten im September und November 1976 durchgeführte Versuchsserie erfolgte zur *Ermittlung der Druckverluste im 10 376 m langen Stollen Hagneck III-Trift* und gleichzeitig zur *Überprüfung der Schwingungen im Unterwasserschloss*. Der Stollen Hagneck-Trift besteht aus der neu erstellten Strecke Hagneck-Rotlau von 4446 m Länge und aus dem bereits vorher bestehenden Freilaufstollen Trift-Rotlau von 5930 m Länge. In dieser letzten Stollenpartie wurde, wie im Druckstollen Räterichsboden-Hagneckfluh, der ursprünglich roh belassene Fels ebenfalls nachträglich mit abgeglättetem Gunit verkleidet. Die Kenntnis der durch diese Massnahme erzielten Verminderung der Druckverluste in einem derart langen Stollen war auch im Hinblick auf

den Betrieb der in der Zentrale Handeck III installierten regulierbaren Pumpe besonders wichtig.

Die vierte und letzte Versuchsserie wurde im Sommer 1977 durchgeführt; sie ist als Ergänzung zur zweiten Versuchsserie zu betrachten. Sie bezwecke die Ermittlung der Druckverluste im Stollen Räterichsboden-Handeckfluh für Wassermengen zwischen 30 und  $42,5 \text{ m}^3/\text{s}$ , also beim gemeinsamen Betrieb der Zentralen Handeck II und Handeck III, ferner die Registrierung der Schwingungen im neuen Wasserschloss Handeckfluh, sowie die Bestimmung des für den Betrieb der regulierbaren Pumpe tiefsten zulässigen Wasserspiegels in den Reservoirkammern Handeck.

(Anlässlich der zweiten Versuchsserie im Sommer 1975 war erst die Zentrale Handeck II im Betrieb, die verfügbare Wassermenge betrug daher höchstens  $30 \text{ m}^3/\text{s}$  und das neue Wasserschloss war noch nicht an das Drucksystem angeschlossen.

### Erste und zweite Versuchsserie

Wie eingangs erwähnt, wurden bei diesen Versuchen die Druckverluste im 3360 m langen Druckstollen Räterichsboden-Handeckfluh für verschiedene Wassermengen zwischen 0 und  $32 \text{ m}^3/\text{s}$  gemessen. Die Seespiegellage Räterichsboden wurde an einer fest eingebauten Druckwaage abgelesen; die Drücke der Zwischenpunkte wurden mit Hilfe von Gewichtsmessern bestimmt. Zur Ermittlung der Wassermengen wurden zwei verschiedene Methoden angewendet, nämlich direkt mit Hilfe der zur Maschinenausrüstung gehörenden Venturiometer und indirekt aus der an den Zählern abgelesenen elektrischen Leistung. Vor Beginn und am Ende jeder Versuchsserie wurde je eine Nullmessung bei vollständig ausser Betrieb stehender Anlage gemacht, wobei mittels entsprechenden Korrekturen sämtliche Drücke auf den jeweiligen Wasserspiegelstand des Stausees Räterichsboden bezogen wurden. Die Messung der einzelnen Punkte erstreckte sich je über eine halbe Stunde, mit Beginn nach Erreichung des jeweiligen Beharrungszustandes. Bild 1 zeigt das Schema der Anlage mit den einzelnen Messstellen.

Die Versuche führten zu folgenden Ergebnissen:

Die Bestimmung der Wassermengen aus der elektrischen Leistung mittels einer Iterationsrechnung erwies sich als die bessere Methode. Die mit Hilfe von Regressionsgeraden bestimmten Kurven  $N = f(Q)$  für  $H_N = 450 \text{ m}$  zeigten eine weit bessere Übereinstimmung zwischen den Versuchen 1974 und 1975 für die mit der elektrischen Leistung bestimmten Wassermengen als für die an den Venturiometern abgelesenen Werte, wie dies aus Bild 2 ersichtlich ist.

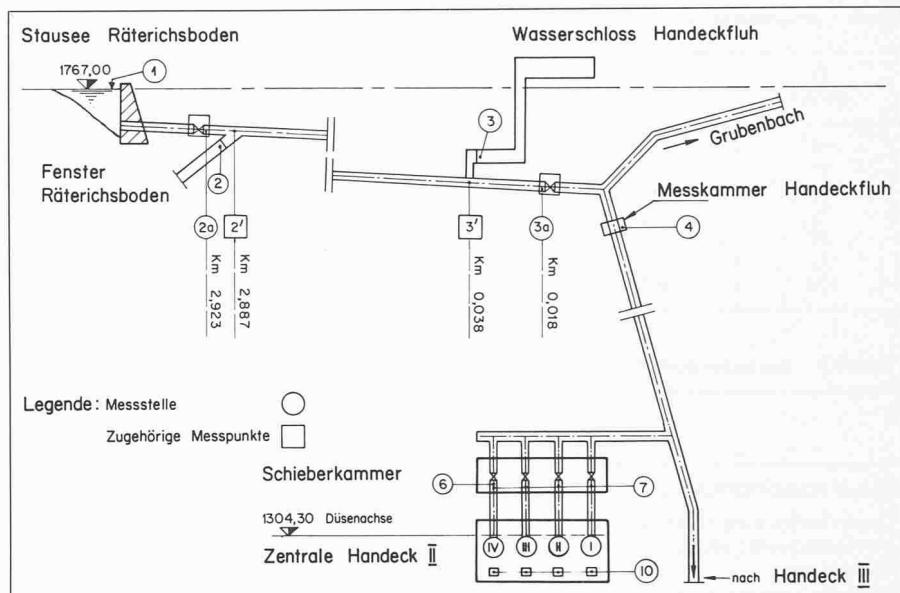


Bild 1. Druckverlustmessungen vom 15. Nov. 1974 und 29. Juli 1975, Schematische Darstellung der Messpunkte. 1, 4: festinstallierte Druckwaage Rittmeyer, 2a, 3a, 6: Präzisions-Röhrenfederanometer, 2, 3: Gewichtsmessgeräte, 7: festinstallierte Venturiometer, 10: festinstallierte Energiezähler

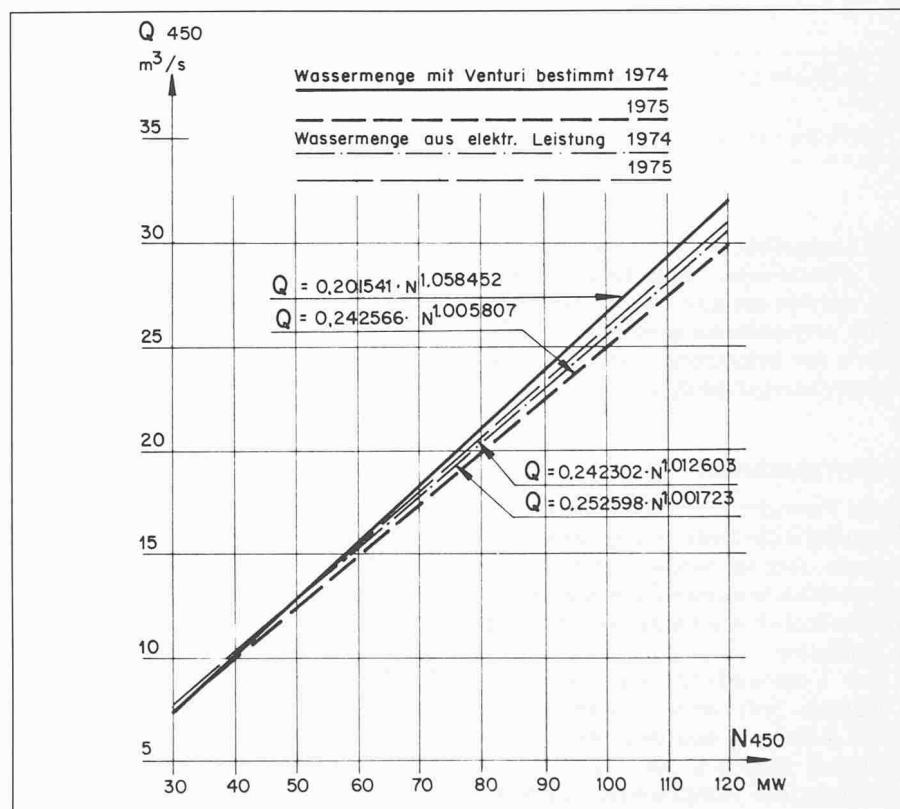


Bild 2. Leistung in Funktion der Wassermengen (mit Venturi und aus elektr. Leistung bestimmt), Messungen 1974 und 1975 –  $H_{\text{Netto}} = 450 \text{ m}$

Die nachträgliche Verkleidung der 1693 m langen, ursprünglich roh belassenen Strecke durch abgeglätteten Gunit von 8 cm Stärke erbrachte eine nennbare Abminderung der Druckverluste (Tabelle 1).

Die betrachtete Stollenstrecke zwischen dem Einlauf im Becken Räterichsboden und der Messkammer beim alten Wasserschloss weist eine Länge von 3359 m auf, wovon 84,05 m mit einer Panzerung, 568,83 m vollständig mit einem Betonmantel, 1013,24 m mit nicht abgeglättetem Gunit und 1693,48 m mit ab-

geglättetem Gunit versehen sind. Die Sohle des Stollens ist, mit Ausnahme der gepanzerten Strecke, auf die ganze Länge betoniert.

Unter der Annahme, dass der Reibungskoeffizient nach Strickler für die gepanzerte Strecke ( $k_P$ ) den Wert 90 aufweist entsprechend einer absoluten Rauigkeit von 0,18 mm und dass diejenige für Beton ( $k_B$ ) zwischen 70 und 80 oder zwischen 1,83 mm und 0,52 mm absoluter Rauigkeit liegt, lassen sich aus den Versuchsergebnissen die in Tabelle 2 aufgeführten Rauigkeitsbeiwerte ermitteln.

Tabelle 1. Abminderung der Druckverluste (zwischen Messpunkten 2 und 3 vgl. Bild 1)

$Q$ (m <sup>3</sup> /s)	$\Delta Z_{e_{\text{alt}}}$ (m)	$\Delta Z_{e_{\text{neu}}}$ (m)	Verbesserung (m)	(%)
10	2,44	1,29	1,15	
15	5,49	2,90	2,59	
20	9,76	5,15	4,61	
25	15,25	8,05	7,20	
30	21,96	11,59	10,37	
35	(29,89)	15,78	(14,11)	
42,5	(44,08)	23,26	(20,82)	

Tabelle 2. Rauhigkeitsbeiwerte

	Verlustbeiwert $k$ (nach Strickler)	Absolute Rauhigkeit $\epsilon$ (mm)
Ganzer Stollen (Mittelwert)	58,5	7,79
Ganzer Stollen nach Abzug der rechnerisch ermittelten besonderen Verluste (Einlauf, Rechen, Klappen usw.)	60,2	6,28

	Für $kP = 90$ und $kB = 70$ Verlustbeiwert $k$ (nach Strickler)	Für $kP = 90$ und $kB = 80$ Verlustbeiwert $k$ (nach Strickler)	Für $kP = 90$ und $kB = 70$ Absolute Rauhigkeit $\epsilon$ (mm)	Für $kP = 90$ und $kB = 80$ Absolute Rauhigkeit $\epsilon$ (mm)
nicht abgeglätteter Gunit	50,6	48,82	21,00	26,30
abgeglätteter Gunit	63,21	60,33	4,32	6,20

Die angegebenen Werte beziehen sich auf theoretische, einheitliche Profile und wurden aus den Werten für die effektiv vorhandenen gemischten Profile mittels der bekannten *Formel von Einstein* rechnerisch bestimmt.

### Dritte Versuchsserie

Diese Versuche bezweckten analog der ersten Serie die Bestimmung der Druckverluste, aber ausgedehnt auf die bis anhin noch nicht untersuchten wasserführenden Stollen der Anlage Handeck III, d. h. nämlich

- des Unterwasserstollens Handeck-Rotlau-Trift von ca. 10,4 km Länge,
  - der Zuleitung aus dem Ausgleichsbecken Handeck zur regulierbaren Pumpe (für Pumpbetrieb Handeck-Trift) der Zentrale Handeck III,
  - der Verbindung Zentrale Handeck III-Ausgleichsbecken Handeck.
- Gleichzeitig wurden auch die Schwingungen im Unterwasserschloss gemessen und registriert.

Im Gegensatz zu den Messungen der ersten und zweiten Serie, die nur mit der allein in Betrieb stehenden Anlage Handeck II erfolgen konnten, musste für die Durchführung der dritten Serie die provisorische Inbetriebnahme des Kraftwerkes Handeck III abgewartet werden. Die Messungen erfolgten nach dem gleichen Prinzip wie bei den vorhergehenden Versuchen. Die Wasserspiegellagen (Becken Handeck, Unterwasserstollen, Reservoirkammern, Trift) wurden an festeingebauten

Druckwaagen abgelesen; für die Druckmessungen in verschiedenen Punkten des Unterwasserstollens standen fünf Gewichtsmessgeräte zur Verfügung; ferner wurde für die Ermittlung der Wassermengen die ebenfalls zur Zentralausrüstung gehörende Ultraschallmesseinrichtung verwendet.

Beim Turbinenbetrieb der Isogyre wurde die Wassermenge auch nach der thermodynamischen Methode durch den Maschinenlieferanten bestimmt. Auf diese Weise konnte die Ultraschallmesseinrichtung hydraulisch geeicht werden, wobei es sich zeigte, dass die an dieser Einrichtung abgelesenen Werte ca. um 5 Prozent zu tief waren. Bei den hydraulisch nicht eichbaren Ultraschallmesseinrichtungen der Isogyre-Pumpe und der regulierbaren Pumpe wurde in erster Annäherung eine gleich hohe Abweichung wie bei der geeichten Einrichtung berücksichtigt. Bild 3 zeigt das Schema der Messstellen und Bild 4 die Eichkurve der Ultraschallmesseinrichtung. Die Versuche ergaben folgende Resultate:

Die Druckverluste im 10,4 km langen Stollen Handeck III-Trift betragen 23,80 m bei einer Wassermenge von 21,0 m<sup>3</sup>/s; sie sind um ca. 8 Prozent niedriger, als die für die Projektierung getroffenen Annahmen.

Die Rauhigkeitsbeiwerte konnten nur für den neu errichteten Stollenteil Handeck-Rotlau bestimmt werden, da für den restlichen Teil Rotlau-Trift keine Stollenprofilaufnahmen zur Verfügung standen; sie ergaben sich zu  $k_{\text{tot}} = 83,56$ ,

entsprechend einer absoluten Rauhigkeit von  $\epsilon = 0,36$  mm. Bild 5 und 6 zeigen charakteristische Stollenquerschnitte.

Die Druckverluste zwischen Handeck III und dem Ausgleichsbecken Handeck liegen wegen verschiedenen Krümmern, Abzweigungen und Drosselklappen ziemlich hoch im Verhältnis zur beschränkten Länge der Strecke. Sie betragen 7,62 m bei einer Wassermenge von 12,0 m<sup>3</sup>/s, wovon aber nur 1,92 m oder ca. 25 Prozent auf reine Reibungsverluste gehen; die restlichen 5,7 m oder ca. 75 Prozent stellen die Summe aller weiteren Einzelverluste dar. Die Druckverluste beim Durchfluss in Richtung der Reservoirkammern Handeck (Isogyre im Turbinenbetrieb nach Handeck) liegen um ca. 85 Prozent höher als die für einen Durchfluss in entgegengesetzter Richtung (Isogyre im Pumpenbetrieb von Handeck oder regulierbare Pumpe im Betrieb nach Trift). Dieser Unterschied der Gesamtverluste in beiden Durchflussrichtungen wird durch die Einlaufverhältnisse in den Reservoirkammern Handeck verursacht. Beim Auslaufen des Wassers in die Reservoirkammern wird praktisch die gesamte kinetische Energie vernichtet, da die Fließgeschwindigkeit sehr rasch auf nahezu 0 abgebremst wird. Im umgekehrten Fall dagegen wird die Fließgeschwindigkeit im Einlaufrichter stetig vergrössert, weshalb nur geringe Verluste entstehen.

Die Messung und die Registrierung der Schwingungen im Unterwasserschloss zeigen, dass nach einer Anpassung der für die Projektierung angenommenen Randbedingungen an die Bauausführung und an die tatsächlich vorhandenen Betriebsverhältnisse die Übereinstimmung zwischen Rechnung und Messung gut ist (siehe Bild 7). Die gerechneten Schwingungswerte liegen durchwegs extremer als die gemessenen; es darf daher gefolgert werden, dass auch bei ungünstigsten Zu- oder Abschaltvorgängen die tatsächlichen Wasserspiegeländerungen etwas kleiner als die gerechneten sein werden.

### Vierte Versuchsserie

Wie eingangs erwähnt, standen entsprechend der Ausbaugrösse der Zentrale Handeck II für die Bestimmung der Druckverluste im Stollen Räterichsboden-Handeckfluh anlässlich der ersten und zweiten Versuchsserie nur Wassermengen bis max. ca. 30 m<sup>3</sup>/s zur Verfügung. Nach Inbetriebnahme der Zentrale Handeck III erhöht sich die verfügbare Wassermenge auf theoretisch 42,5 m<sup>3</sup>/s (praktisch ca. 44 m<sup>3</sup>/s); deshalb wird auch die Bestimmung des weitaus wichtigsten obersten Bereiches der Druckverlustkurve bzw. die Kontrolle der anlässlich der zweiten Versuchsserie vorgenommenen Extrapolation

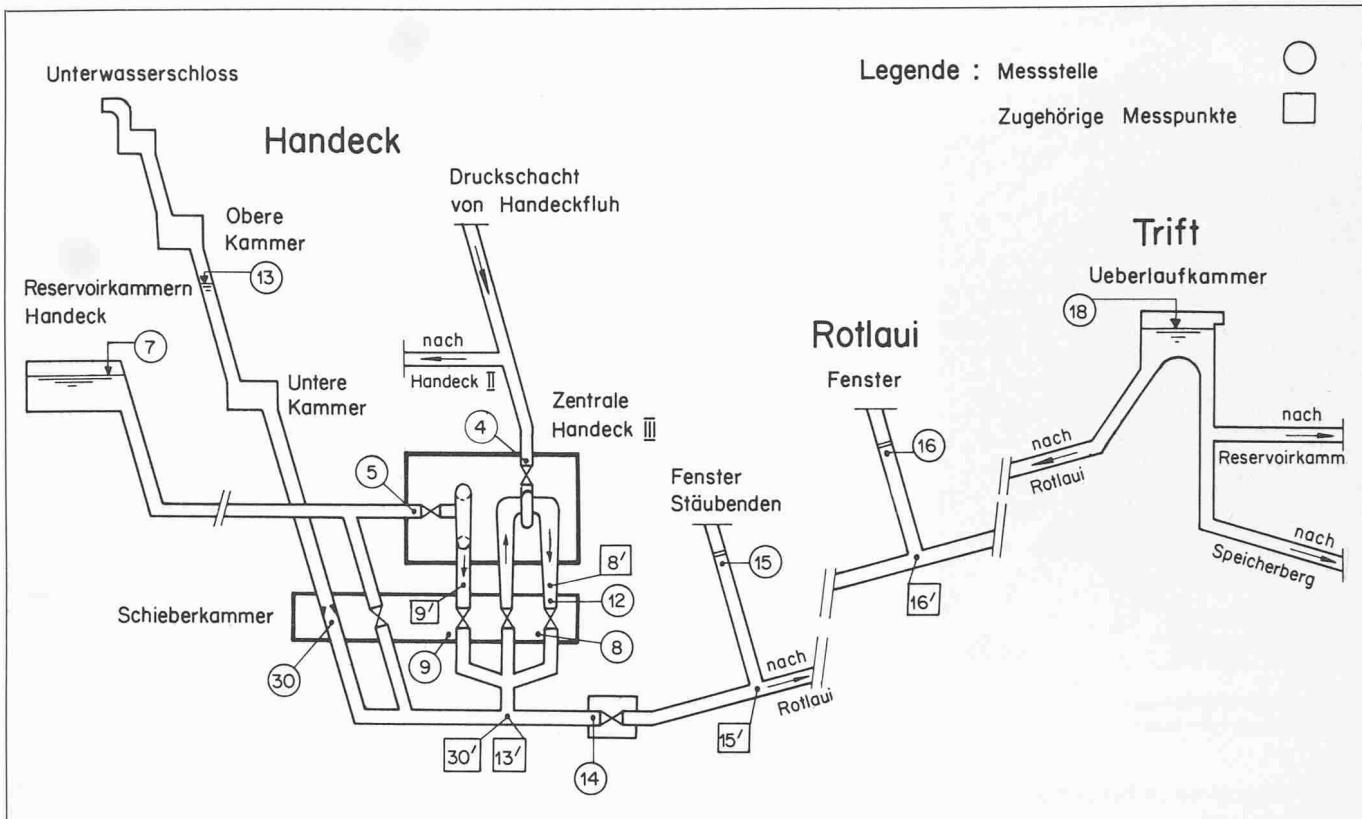


Bild 3. Druckverlustmessungen vom September und November 1976, Schematische Darstellung der Messpunkte. 4, 5, 14, 15, 16, 30: Gewichtsmanometer, 7: Pege, 8: Ultraschall-Durchflussmessgerät Voith (Isogyre-Turbine), 9: Ultraschall-Durchflussmessgerät Voith (regulierbare Pumpe), 18: festinstallierte Druckwaage Rittmeyer

tion derselben ermöglicht. Die Messung erfolgte nach gleichem Schema und an denselben Standorten wie bei der zweiten Versuchsserie (Bild 1). Die Ergebnisse zeigten, dass die Abweichungen zwischen der vierten Versuchsserie und den 1975 bestimmten Druckverlustkoeffizienten ca. 2 Promille beträgt; dies bedeutet, dass die verschiedenen Messungen mit gleichem Genauig-

keitsgrad durchgeführt wurden und dass die Rauhigkeitsverhältnisse des Stollens während des Zeitintervales von ca. zwei Jahren zwischen den Messungen unverändert geblieben sind. Anlässlich dieser Versuche wurden auch die Schwingungen im neuen Wasserschloss Handeckfluh und im bestehenden Schrägschacht Grubenbach während gemeinsamen Zu- und Ab-

schaltungen beider Zentralen auf Vollast bei einer Gesamtwassermenge von ca.  $45 \text{ m}^3/\text{s}$  gemessen und registriert. Die Ergebnisse sind in Bild 8 wiedergegeben. Sie weisen sowohl für den Vertikalschacht als auch für den Schrägschacht Grubenbach eine annehmbare Übereinstimmung auf. Die extremen Werte der Rechnung liegen in jedem Fall höher als diejenigen der Messung;

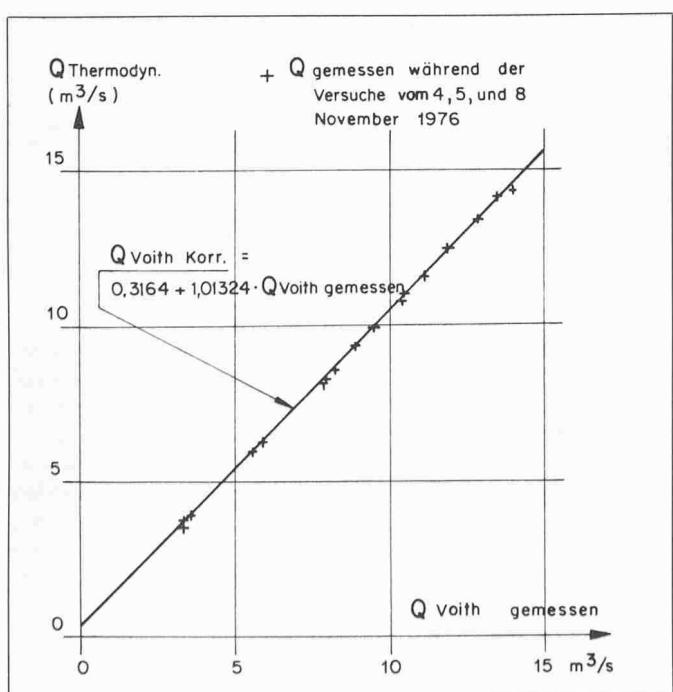


Bild 4. Bestimmung des wirklichen Durchflusses der Isogyre - Turbine, Verhältnis zwischen Durchflussmessung Voith und thermodynamischer Messung (Eichung)

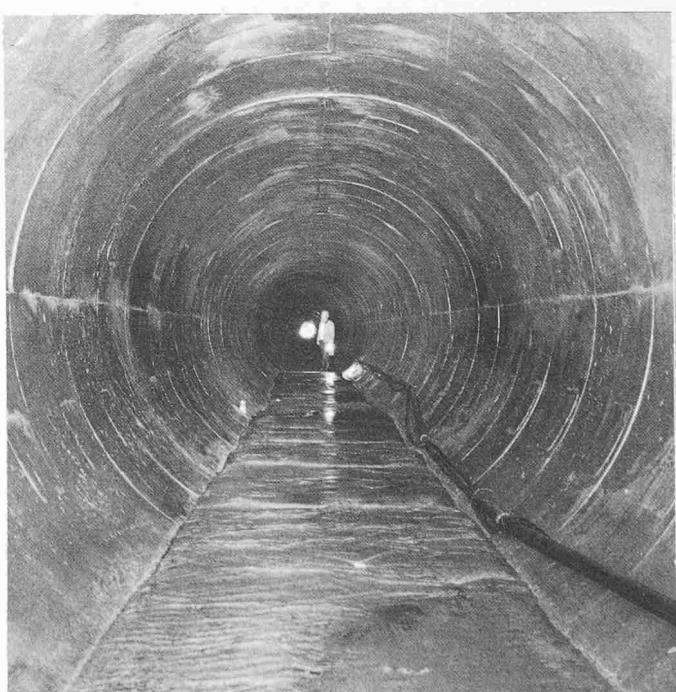


Bild 5. Neuer Druckstollen Handeck III - Rotlau

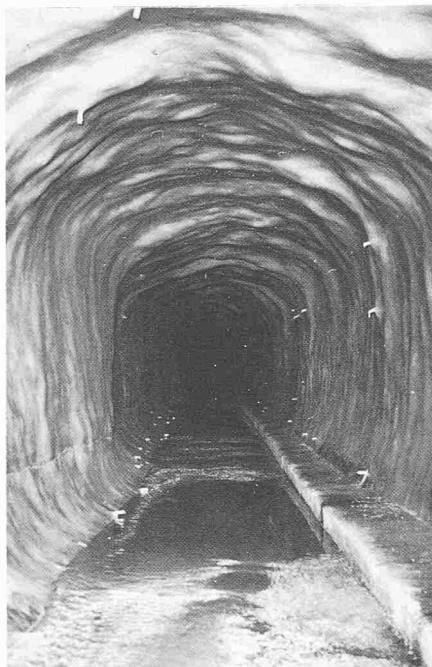


Bild 6. Druckstollen Rotlau - Trift, neuer geglätteter Gunit

die Rechnungswerte befinden sich somit auf der sicheren Seite.

Anlässlich der Versuche 1976 wurden beim Betrieb der regulierbaren Pumpe ab einer bestimmten Wasserspiegelkote in den Reservoirkammern Handdeck Lufteintritte in die Saugleitung festgestellt. Zur Ermittlung der Ursachen dieser Störung (es wurde unter anderem die Bildung sogenannter Badewannenwirbel beim Einlauftrichter der Saugleitung vermutet) und zur Bestimmung des tiefsten zulässigen Wasserspiegels für einen störungsfreien Betrieb wurden provisorisch in den Reservoirkammern gegenüber der Einmündung der Saugleitung Fernsehkameras angebracht. Die sich im ganzen Bereich des Einlauftrichters beim Pumpenbetrieb abspielenden Vorgänge konnten somit durchgehend am Bildschirm beobachtet und auf Magnetband registriert werden.

Es zeigte sich, dass bei der progressiven Entleerung der Reservoirkammern keine Wirbel entstanden, dass jedoch von einer bestimmten Wasserspiegelkote an durch Mitreissen von Luft ein Luft-Wassergemisch in der Saugleitung entsteht. Durch Heraufsetzung der tiefsten für den Pumpenbetrieb zulässigen Wasserspiegelkote in den Reservoirkammern um 20 cm konnten die festgestellten Störungen eliminiert werden.

## Schlussfolgerungen

Alle Versuche und Messungen beanspruchten 18 Arbeitstage sowie den Einsatz von im Mittel 13 auf das gesamte Stollensystem von rund 15 km Länge verteilte Personen je Tag.

Die Ergebnisse bestätigten die Richtigkeit der Projektierungsannahmen und gaben Aufschluss über die Möglichkeiten,

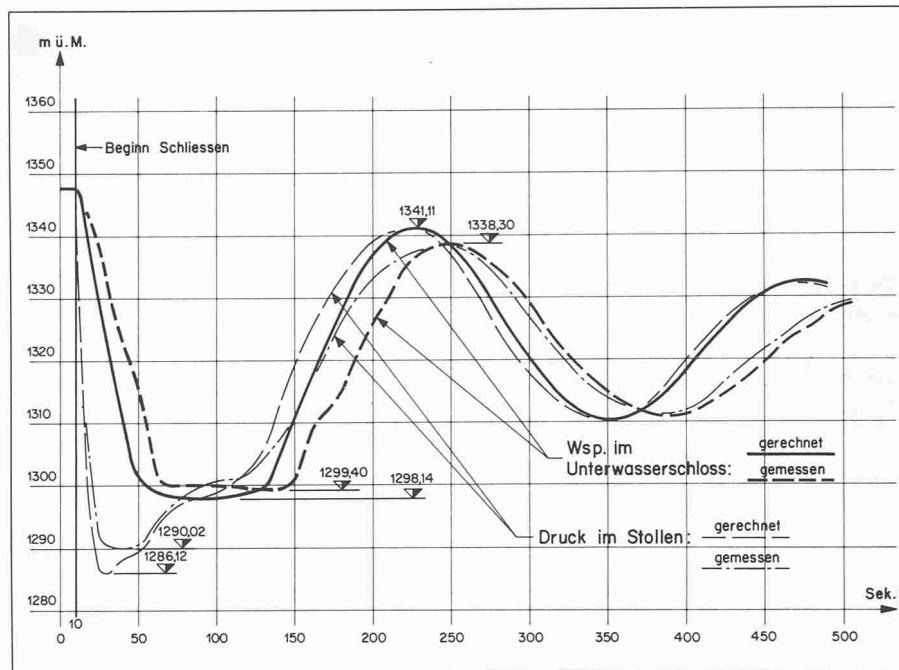


Bild 7. Gemessene und gerechnete Wasserspiegelschwankungen und Druckänderungen beim Abschaltversuch vom 24. Sept. 1976

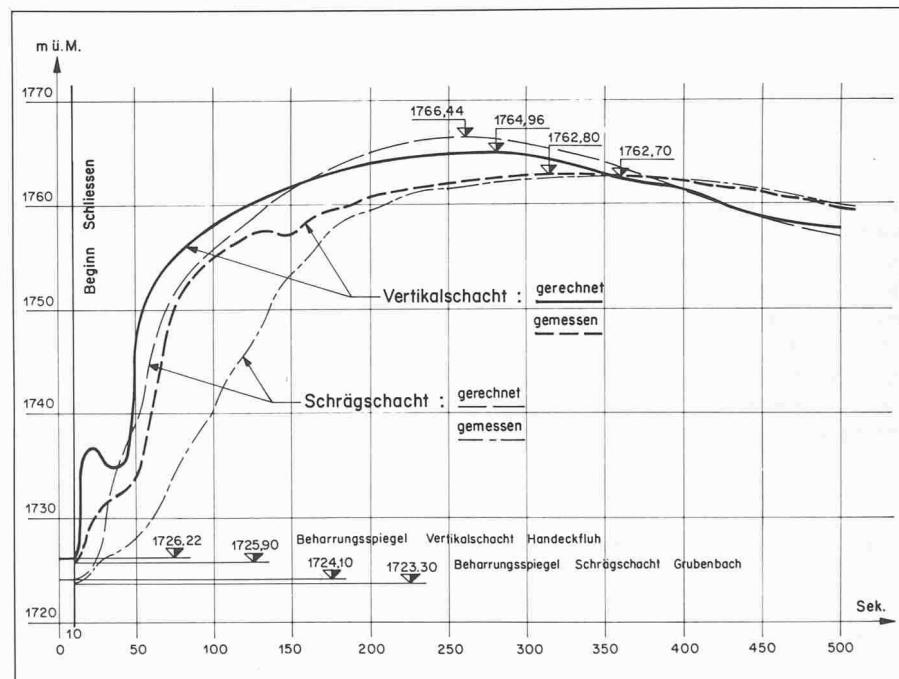


Bild 8. Gemessene und gerechnete Wasserspiegelschwankungen beim Abschaltversuch vom 19. Aug. 1977

ten, den Betrieb nicht nur in den ursprünglich vorgesehenen Hauptfällen, sondern auch in seltener auftretenden kombinierten Fällen zu führen. Die Verkleidung mit Spritzbeton der ursprünglich roh belassenen Felspartien des Druckstollens Handeckfluh-Rätelrichsboden und Rotlau-Trift hat sich somit als zweckentsprechende Massnahmen erwiesen.

Die Druckverluste wurden im ersten Falle um ca. 47 Prozent und im zweiten Falle um 40 Prozent reduziert; die jährliche Gesamtproduktionserwartung der Anlagen Handeck II und Handeck III kann infolgedessen um rund 7,2 Mio

kWh erhöht werden, wobei weitaus der grösste Teil dieser Mehrproduktion auf die hochwertigen Kategorien Spitzenenergie und Starklastenergie entfällt. Es erscheint wünschenswert, auch in Zukunft periodische Messungen in beiden Stollen systematisch durchzuführen, um zuverlässige Aufschlüsse über das Verhalten der Druckverluste in Abhängigkeit des fortschreitenden Alters der Bauwerke zu erhalten.

Adresse der Verfasser: G. Trucco, dipl. Ing. und P. Delley, dipl. Ing., AG Ingenieurbüro Maggia, Via Stefano Franscini 2, 6600 Locarno.