

**Zeitschrift:** Schweizerische Bauzeitung  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 77 (1959)  
**Heft:** 34

**Artikel:** Elektronische Gehirne  
**Autor:** Stein, T.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-84302>

#### 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>**

## Elektronische Gehirne

Von T. Stein, dipl. Masch.-Ing., Schio (Italien)

DK 681.142—523.8

### Das Gedächtnis

Wir sind gewohnt, alles was unser Hirn vollzieht, als eine Funktion zu betrachten, die einzig der menschlichen Intelligenz vorbehalten ist. Deshalb war fast jeder verwundert, als er zum erstenmal von Apparaten hörte, die ein Gedächtnis haben. Und doch gibt es wohl niemand, der nicht weiß, dass der Kino-Film und die Grammophon-Platte Gedächtnisse höchster Vollkommenheit und Universalität verkörpern. Wie das Gehirn, speichern diese Gedächtnisse Erinnerungen der Vergangenheit, die man hervorholen kann, so oft man will. Deshalb heißtt die Grammophon-Platte englisch «record», Erinnerung.

### Gegen die zunehmende Desorganisation

Man spricht von zwei grundlegenden industriellen Revolutionen. Die erste hat die Arbeit des menschlichen Muskels durch mechanische und elektrische Triebkraft ersetzt. Die zweite versucht, gewisse Funktionen des menschlichen Gehirns durch Apparate mit ähnlichen Funktionen zu ersetzen.

Der Ersatz der Arbeit des menschlichen Muskels durch Energiequellen hat einen schweren Mangel. Die Thermodynamik lehrt, dass man nicht Energie schaffen, sondern sie bloss aus einer Form in eine andere verwandeln kann. Diese Umwandlung verläuft in der Richtung zu immer minderwertigeren, immer weniger geordneten Energieformen. Darum sieht man schliesslich einen allgemeinen Wärmetod in einer erkalteten Erde voraus. Das Mass dieser Desorganisation nennt man Entropie, und das allgemeine Naturgesetz lautet, dass im Durchschnitt die *Entropie*, d. h. die *Unordnung*, die Tendenz hat, ständig zuzunehmen. Es ist dies ein Wahrscheinlichkeitsgesetz, das im Durchschnitt für das Universum in seiner Gesamtheit gültig ist.

Aber inmitten dieser tödlichen Desorganisation existieren auf der Erde Enklaven, die nicht den Gesetzen der wahrscheinlichen Tendenz gehorchen. Es sind dies die Pflanzen, die in der Landwirtschaft Sonnenenergie in hochwertige Energieformen umwandeln, und damit die Grundlage der menschlichen Ernährung schaffen. Schon Maxwell hat theoretisch einen kleinen Dämon ersonnen, der imstande sein sollte, das Gesetz des wahrscheinlichen Ablaufes der ersterbenden Schöpfung zu durchbrechen, indem er mit Intelligenz weitere Enklaven mit wachsender Organisation schafft. Dies inmitten der wachsenden Desorganisation, die für das ganze Weltall gilt.

### Cybernetik

Hiervom ausgehend hat der Mathematiker Norbert Wiener [1] seine Theorie der Cybernetik entwickelt. Diese Wissenschaft verbindet die Theorien von Informationstechnik und selbsttätiger Regelung. Nur wenn man zulässt, dass die leblose Materie ihrem eigenen Wahrscheinlichkeitsgesetz folgt, muss die Desorganisation zunehmen.

Wenn man hingegen Sinnesorgane schafft, die außerhalb der vom Menschen geschaffenen Automatismen Informationen einziehen, und man diese in geeigneter Weise auf die Funktion der Mechanismen einwirken lässt, entweicht der mechanisierte Vorgang dem unheilvollen Gesetz der wahrscheinlichen Desorganisation. So verwirklicht sich das Phantasiegebilde des Dämons von Maxwell.

Das Organ, welches die Informationen auf den Mechanismus wirken lässt, heißtt englisch feed-back und deutsch Rück-Kopplung. Es sind Rück-Kopplungen, die imstande sind, die vom Menschen in der Industrie geschaffenen Ma-

schinen dem Gesetz der allgemein wachsenden Desorganisation zu entziehen. So werden, ausser den lebenden Pflanzen, weitere Enklaven im allgemeinen Ablauf der wachsenden Desorganisation geschaffen.

### Ersatz des menschlichen Gehirns

Die Umwandlung der Natur in einer Weise, die dem Menschen dienlich ist, muss sicher vom menschlichen Gehirn organisiert werden. Aber in der mechanisierten Industrie handelt es sich darum, nicht bloss Informationen einzuholen, sondern sie auf Maschinen einwirken zu lassen, sie also in die Sprache der Maschinen zu übersetzen. Wir wollen sehen, welche Funktionen des menschlichen Gehirns direkt in Maschinen einverlebt werden können, so dass es schliesslich *Maschinen* sind, die zu *Maschinen sprechen*, um sie zu lenken.

Den Ausgangspunkt für die Cybernetik schufen die Arbeiten von Norbert Wiener zur Verwirklichung der Luftabwehr durch vom Radar gelenkte Geschosse, unter Einschluss der Vorausbestimmung der wahrscheinlichen künftigen Positionen eines Flugzeuges auf Grund seiner vorhergehenden Flugbahn. Es handelt sich hier darum, weitläufige Rechnungen auszuführen und nachher auf den Schussmechanismus mit einer Geschwindigkeit einzuwirken, die so gross ist, dass sich die vermittelnde Tätigkeit des menschlichen Gehirns verbietet.

Wir wollen hier absehen von der schöpferischen und künstlerischen Fähigkeit und Phantasie des Menschen, die zweifellos dem menschlichen Gehirn vorbehalten sind, wie dies von Kraemer meisterhaft dargelegt wurde [4]. Ausser einem Gedächtnis kann dennoch eine Rechenmaschine sehr wohl die Fähigkeit besitzen, eine Situation zu analysieren; sie kann auf Grund der in die Maschine eingebauten logischen Funktionen auch geeignete Entscheidungen treffen, also «vernünftig» folgern. Die Maschine kann routinemässige Geschicklichkeit und Aufmerksamkeit des Menschen ersetzen und ihn hiervon entlasten. Aber — wie Einstein sagt — sie kann sich niemals von selbst ein Problem stellen.

Die Cybernetik hat grundlegend die Uebereinstimmung zwischen elektronischen Rechen- und Kontrollvorrichtungen und der Tätigkeit des menschlichen Gehirns untersucht. Beide arbeiten elektrisch mit einem äusserst niedrigen Energieaufwand. Den Nerven, welche elektrisch das Gehirn mit den Sinnesorganen und den Muskeln verbinden, entsprechen in den elektronischen Apparaten elektrische Leitungen. Die Fortschritte in der Entwicklung von elektronischen Verstärkern für die Fernmeldetechnik haben mitgeholfen, die elektronischen Maschinen auf ebenso schwache Informationssignale ansprechen zu lassen, wie sie die menschlichen Sinnesorgane brauchen. Das menschliche Ohr oder Auge funktioniert mit einem Milliardstel von einem Watt [3]. Sämtliche Ohren und Augen der Milliarden von Erdbewohnern verbrauchen alle miteinander insgesamt rund 5 Watt, d. h. eine Energiemenge, die ein kleiner Bruchteil von dem ist, was eine einzige elektrische Lampe verbraucht.

Anderseits hat die *Neuropathologie* aus der cybernetischen Wissenschaft Nutzen gezogen. Man weiß heute zum Beispiel, dass das menschliche Zittern den Pendelungen instabiler automatischer Systeme entspricht. Die Schwierigkeit, das Unterbewusstsein durch Psychoanalyse zu behandeln, erklärt sich durch die Tatsache, dass man erst die fehlenden Verbindungslinien zwischen Bewusstsein und Unterbewusstsein zu schaffen hat. Auf Grund der Theorien von

Wiener versucht man auch Prothesen für verloren gegangene oder fehlende Glieder oder Sinne zu schaffen oder zu verbessern.

Es besteht ein natürlicher Widerwille gegen den Vergleich zwischen dem Gehirn eines Lebewesens und einem Mechanismus, weil man an stupide Roboter oder eher lächerliche Figuren denkt, die vorherbestimmte Bewegungen ausführen, die durch Uhrwerke ablaufen und so Lebewesen nachahmen. Durchaus davon verschieden sind *Reflexmaschinen*, welche durch Sinnesorgane Informationen über die Außenwelt aufnehmen. Die elektronische Schildkröte des Engländer Walter bewegt sich, indem sie wie ein lebendes Tier Hindernissen ausweicht.

#### Ueberlegenheit der elektronischen Rechenmaschine

Das Tier ist unfähig, Berechnungen anzustellen. Gerade in dieser Tätigkeit, die von den Lebewesen dem Menschen vorbehalten bleibt, ist die Ueberlegenheit des elektronischen Gehirns über das menschliche Gehirn sowie über primitive Mechanismen gewaltig.

Anstelle von 0,2 Rechnungen in der Sekunde, die ein Mensch mit einer einfachen Tischrechenmaschine fertig bringt, vollführt die schnellste elektronische Rechenmaschine eine Million mathematischer Operationen in der Sekunde, d. h. 5 Millionen mal so viele [5]. Trotzdem ist die Fehler-Häufigkeit der Ergebnisse 100 000 mal kleiner. Dies beruht nicht bloss auf der geringen Masse der Elektronen, die äusserst rasche Bewegungen gestattet. Ueberdies führt man auf Grund eines Zahlen-Code durch Lochstreifen ganze Bibliotheken von Zahlentafeln und mathematischen Funktionen in das aus magnetischen Speichern bestehende Gedächtnis ein.

Das magnetische Gedächtnis empfängt und speichert auch die vollständige Programmierung der mathematischen Operationen, ihre Reihenfolge, und es ist imstande, selbsttätig die Abänderung des Programms in Abhängigkeit von den Zwischenergebnissen herbeizuführen, die ebenfalls gespeichert und dem magnetischen Gedächtnis entnommen werden können.

Um die Ergebnisse dem Menschen mitzuteilen, werden die elektrischen Signale durch selbsttätige elektrische Schreibmaschinen übersetzt. Wenn es sich dagegen darum handelt, zum Beispiel eine Werkzeugmaschine zu steuern, dann werden die Ergebnisse als elektrische Signale direkt den Empfangsorganen der gesteuerten Maschine übermittelt. Das magnetische Gedächtnis der elektronischen Rechenmaschine gestattet zum Beispiel die Steuerungen von Flugzeugen, Raketen geschossen oder Satelliten nach einer grossen Anzahl unabhängiger Grössen zu lenken.

Die Fähigkeit des elektronischen Gehirns, rasch eine grosse Anzahl von Kombinationen zu berechnen und deren Ergebnisse zu vergleichen, geht so weit, dass es möglich ist, Maschinen zu bauen, welche leidlich Schach spielen. Man hat auch bereits elektronische Rechenmaschinen verwirklicht, die mechanisch aus einer Sprache in verschiedene andere übersetzen. Die Wettervorhersage geschieht durch elektronische Rechenmaschinen, indem man die im Gedächtnis der Rechenmaschine gespeicherten früheren meteorologischen Werte mit den gegenwärtigen vergleicht. Nur als Beispiel von dem, was elektronische Rechenmaschinen für Industrie, Banken und öffentliche Verwaltungen tun können, diene, dass eine einzige Rechenmaschine in wenigen Stunden die Lohnzettel, Tausende von Rechnungen und von Buchhaltungsabschlüssen grosser Organisationen berechnet und druckt.

Weniger bekannt sind die Ergebnisse bei technischen Berechnungen. So braucht zum Beispiel die Berechnung der kritischen Drehzahl der Wellen rotierender Kraftmaschinen, die von einem Zeichner mit graphischen Mitteln z. B. 21 Arbeitstage erfordert, mit einer elektronischen Rechenmaschine mittlerer Grösse nur 36 Sekunden [5].

Zur Bestimmung der Stabilitätsbedingungen und des optimalen Verhaltens von automatischen Regelungsvorgängen führte man bisher vereinfachte Rechnungen aus, die trotzdem Wochen mathematischer Akrobistik brauchten, ohne jedoch alle praktischen Einflüsse einschliessen zu können.

Elektronische Analog-Rechenmaschinen gestatten es, den Regelkreis zu simulieren, und zwar mit einer so hohen Geschwindigkeit, dass der mit sämtlichen praktischen Unvollkommenheiten simulierte Vorgang z. B. 10 000 mal schneller abläuft als der wirkliche Vorgang, der einige Sekunden braucht. So kann das Ergebnis als Leuchtkurve ähnlich wie beim Fernsehen auf einem Bildschirm wiedergegeben werden. Durch Drehen von Griffen, die alle auf den Vorgang wirkenden Variablen ändern, findet man so in kurzer Zeit die vorteilhafteste Kombination [6].

#### Automation

Welche Funktionen erfüllen elektronische Gehirne in der automatischen Fabrik? Als Beispiel nehmen wir das schwierigste Gebiet, die Maschinenindustrie. Für eine vollständig von einer elektronischen Rechenmaschine betätigten Werkzeugmaschine muss zunächst die Konstruktionszeichnung in einen Zahlen-Code übersetzt werden. Dadurch schafft man Signale, welche Zeitfolgen und Bewegungen des Werkzeuges und der Maschinenteile bis zu drei Dimensionen steuern und dabei ebenfalls automatisch fortwährend das Optimum z. B. der Schnittgeschwindigkeit sicherstellen.

Ein weiterer Schritt ist die Masskontrolle, die selbsttätig Stücke zurückweist, die der Toleranz nicht genügen. Der letzte Schritt ist, den festgestellten Fehler auf die Automatik *rückwirken* zu lassen, um den Fehler zu kompensieren, der z. B. von der Abnutzung des Werkzeugs, von Änderungen in der Wärmeausdehnung oder von der Qualität des Materials herstammt. Damit wird aus dem Servomechanismus der Werkzeugmaschine ein vollkommen geschlossener Regelkreis [7] vom Zahlen-Code der Zeichnung bis zum massgerecht fabrizierten Arbeitsstück.

Zentrale elektronische Gehirne steuern den automatischen Transport von einer Werkzeugmaschine zur anderen, sichern beim Eingang in die Maschine die richtige Lage des Arbeitsstückes und beim Austritt die selbsttätige Ueberführung auf die Förderbänder. Es folgt, wie in der Auto-Industrie, die Steuerung der Montagebänder, so dass die Stücke, die zur Montage notwendig sind, rechtzeitig aus den verschiedenen Bearbeitungs-Abteilungen zusammenfließen. Auf diese Weise ist es z. B. einer Fabrik von Rollen- und Kugel-Lagern gelungen, jährlich anderthalb Millionen, d. h. täglich 5000 Lager herzustellen, und zwar 1000 verschiedene Typen mit nur 180 Arbeitern.

Aber noch weitreichender ist die Funktion der elektronischen Gehirne auf dem Gebiete der Produktion und des Konsums von Elektrizität. Hier beschränkt sich der elektronische Eingriff nicht auf das Zusammenwirken mehrerer Kraftmaschinen der gleichen Zentrale.

Nicht nur gehorchen sämtliche Zentralen eines Landes selbsttätig mit Fernmessungen gemeinsamen Lastverteilern. Auch der internationale Energieaustausch wird von einem System elektronischer Vorrichtungen betätigt, welche automatisch die *Verteilung der Energieproduktion* steuern. Dies gilt für einen grossen Teil unseres Kontinents.

In den USA sind bereits mehr als 300 elektronische Lastverteiler in Betrieb, die gemäss der Technik der Rechenmaschinen selbsttätig die Produktion auf die einzelnen Dampfturbinen des ganzen Netzes derart verteilen, dass sie ständig das Gesamtoptimum der Elektrizitäts-Herstellungs-kosten herbeiführen. Diese elektronischen Gehirne tragen auch den Kosten der verschiedenen Brennstoffe sowie den Verlusten in den elektrischen Fernleitungen Rechnung.

#### Dem menschlichen Gehirn vorbehaltene Funktionen

Es ist zu fragen, ob man von der zweiten industriellen Revolution einen ebenso weitgehenden Ersatz des menschlichen Gehirns durch das elektronische zu erwarten hat, wie die menschlichen Muskeln durch die erste industrielle Revolution ersetzt wurden.

Aus dem Welt-Energieverbrauch kann man berechnen, dass die erzeugte Leistung 6mal grösser ist, als sie von sämtlichen menschlichen Muskeln zusammen produziert werden könnte [3]. Ein derart weitgehender Ersatz der Funktionen des menschlichen Gehirns ist nicht zu erwarten. Es genügt,

zu bedenken, dass man, um ein Auto-Taxi zu lenken, ein elektronisches Gehirn mit 50 000 elektronischen Verstärkern brauchen würde [2], zehnmal mehr als für grosse Rechenmaschinen. Ein solches Gehirn fände nicht einmal auf dem Anhänger des Autos Platz. Je tiefer man in die Kenntnis der Funktionen des elektronischen Gehirns eindringt, die denen des menschlichen Gehirns entsprechen, desto grösser wird die Bewunderung für die Schöpfung des menschlichen Gehirns. Man muss staunen, wie in einem derart beschränkten Raum im Kopf eines Menschen mehr Funktionen beherrscht werden als von umfangreichen, äusserst komplizierten elektronischen Rechenmaschinen. Zu diesen, dem menschlichen Gehirn vorbehaltenen Funktionen gehört auch der schöpferische Geist, der die elektronischen Gehirne geschaffen hat und der ihre Funktion zu programmieren weiss.

#### Literaturverzeichnis

- [1] Wiener, N.: Cybernetics, New York 1948, John Wiley & Sons.
- [2] Gerecke, Ed.: Die Automation am Mailänder-Kongress 1956. «Technische Rundschau» 1956, Nr. 28.
- [3] Mayer, H. F.: Der Mensch und die Nachrichtentechnik. «Elektrotechn. Z.» 1956, Nr. 13, Referat in VDI-Z 1957, Nr. 11.
- [4] Kraemer, O.: Automat und Mensch. Rahmenvortrag der VDI/VDE-Tagung «Regelungstechnik», Heidelberg 1956. «Elektrotechn. Z.» 1956, Hefte 18 und 20.
- [5] Heimann, W.: Der Einsatz von Digital-Rechnern in Wissenschaft und Technik. «Regelungstechnik» 1958, Heft 8.
- [6] Stein, T.: Vom Nutzen der Analog-Versuche für die Praxis. «Anwendung der Rechenmaschinen bei der Berechnung von Regelvorgängen», R. Oldenbourg, München 1958.
- [7] Profos, P.: Der Regelkreis — ein universeller Begriff. SBZ 1959, Heft 23.

## Aus der Projektierung für die Kraftwerkgruppe Hinterrhein

DK 621.29.002.1

Motor-Columbus AG., Baden

Fortsetzung von S. 484

### Ausbildung des Wehres Innerferrera, Verlandungs- und Spülversuche

Von R. Härry, dipl. Ing. ETH

#### 1. Einleitung

Ein weiteres, wenn auch in seinem Ausmass kleines Glied der Kraftwerkgruppe Valle di Lei-Hinterrhein, ist das Ausgleichsbecken Innerferrera am Averserrhein. Sein Stauwehr befindet sich in einer Schlucht, etwa 900 m unterhalb des Dorfes Innerferrera und rd. 1000 m oberhalb der Kavernenzentrale Ferrera.

Das totale Einzugsgebiet bis zur Sperrstelle beträgt 220,2 km<sup>2</sup>, wovon 5,3 % vergletschert sind. 72,9 km<sup>2</sup> entfallen auf die Einzugsgebiete der Stauseen Valle di Lei (197 Mio m<sup>3</sup> Inhalt) und Alp Preda (0,13 Mio m<sup>3</sup> Inhalt) und 64,1 km<sup>2</sup> auf die verschiedenen Wasserfassungen, die für spezifische Wasserführungen bis zu 190 l/s · km<sup>2</sup> ausgebaut werden. Damit verbleiben noch 85,8 km<sup>2</sup> als direktes Einzugsgebiet. Der durchschnittliche jährliche Durchfluss, der bis heute gemessen wurde, beträgt 10,5 m<sup>3</sup>/s. Infolge des Wasserentzuges durch die verschiedenen Wasserfassungen und die beiden Stauseen wird sich der Durchschnitt auf rund 4,7 m<sup>3</sup>/s verringern. Wie bereits in der Veröffentlichung über die Abschätzung der massgebenden Hochwasserabflüsse (SBZ 1959, Heft 26, S. 406) erläutert wurde,

sind für das 100jährige Hochwasser des Averserrheins bei Innerferrera 700 m<sup>3</sup>/s und für das 1000jährige 1100 m<sup>3</sup>/s der Dimensionierung zugrunde gelegt worden. Diese Wassermengen entsprechen spezifischen Abflüssen von 3,1 m<sup>3</sup>/s · km<sup>2</sup>, bzw. 4,8 m<sup>3</sup>/s · km<sup>2</sup>. Die grössten Hochwasser treten entsprechend unseren schweizerischen Niederschlagsverhältnissen am ehesten im Spätsommer oder im Herbst auf. In dieser Zeit wird in wasserreichen Jahren der Stausee Valle di Lei, der keinen Hochwasserschutzraum besitzt, möglicherweise gefüllt sein. Da zudem durch die Wasserfassungen nur 18 m<sup>3</sup>/s dem Zufluss entzogen werden, kann bei der Dimensionierung eine Retention und damit eine Abflachung der Hochwasserwelle nicht berücksichtigt werden.

#### 2. Ausgleichsbecken

Das Ausgleichsbecken Innerferrera hat einen Stauinhalt von 300 000 m<sup>3</sup>, wovon 230 000 m<sup>3</sup> nutzbar sind. Das Stauziel liegt auf Kote 1443 m ü. M., das Senkungsziel auf Kote 1434 m ü. M. Dieses aufgestaute Wasser dient zur Hauptsache als stets bereite Reserve für die in der rund 30 m tiefer gelegenen Zentrale Ferrera installierten Speicherpumpen. Die Wasserfassung befindet sich auf der rechten Talseite direkt beim Wehr. Ein Druckstollen und ein Eisenbetonrohr mit 2,6 m Durchmesser und einer Länge von zusammen 1100 m verbinden das Ausgleichsbecken mit der Zentrale. Die Leitung überquert dabei als Aquädukt den Averserrhein. Bis zu 8 m<sup>3</sup>/s des gestauten Wassers können zusammen mit solchem aus dem Speicher Sufers in den rund 500 m höher gelegenen Stausee Valle di Lei gefördert werden. Ueberschüssige Zuflüsse aus dem Averserrhein bis zu 15 m<sup>3</sup>/s, die hauptsächlich im Sommer auftreten, werden als Laufwasser durch den Druckstollen nach dem Speicher Sufers geleitet.

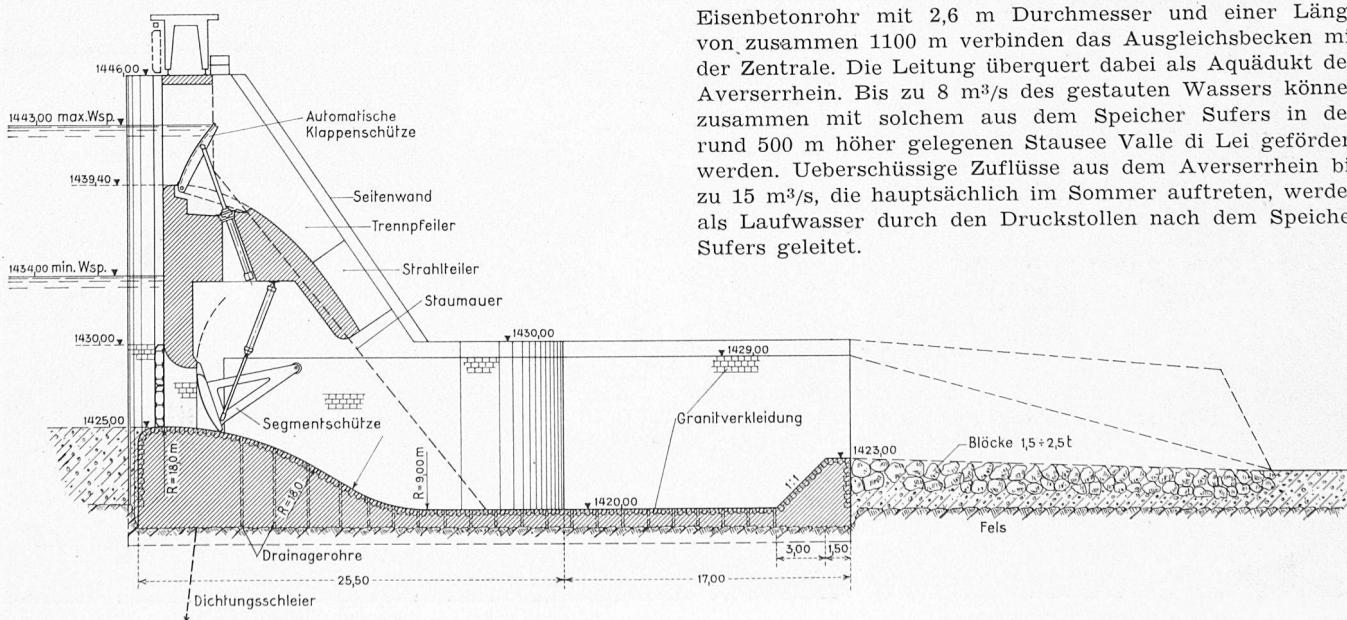


Bild 1. Schnitt 1:450 durch das Wehr Innerferrera