

# Ideen von Leonardo da Vinci zur Ausnützung der Wasserkräfte

Autor(en): **Dubs, Robert**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **70 (1952)**

Heft 49

PDF erstellt am: **21.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-59722>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

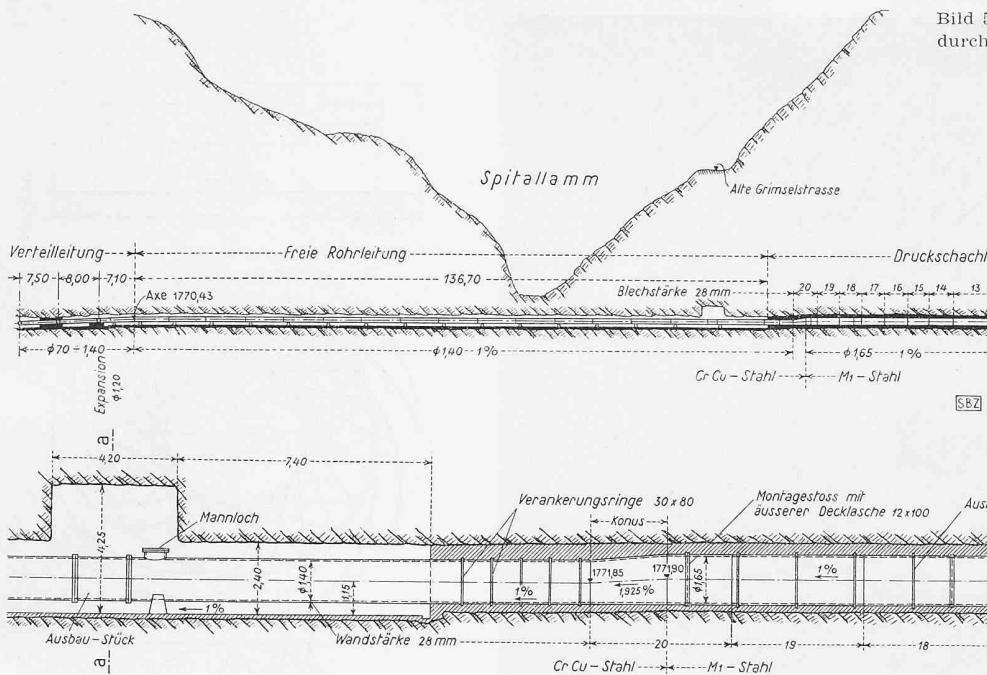


Bild 52 (links). Unterführung der Spitallamm durch die Druckleitung, Masstab 1:1500

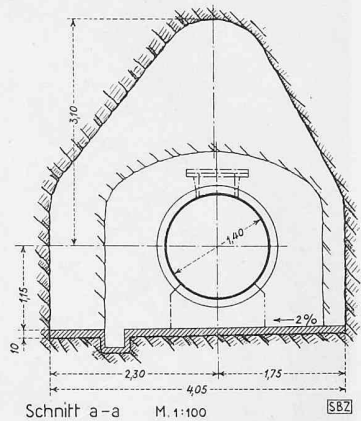


Bild 53. Uebergang vom Druckschacht auf die freie Rohrleitung, Längenschnitt 1:250, Querschnitt 1:100

Der Schachtausbruch auf den oberen zwei Dritteln der Steilstrecke erfolgte von zwei Baufenstern aus; das eine liegt direkt über dem Grimselseespiegel, das andere auf mittlerer Höhe. Hingegen konnte die lange flache Strecke mit dem anschliessenden untersten Teil des Schrägschachtes bis zum unteren Baufenster nur von der Zentrale aus vorgetrieben werden. Die Traversierung des Grimselnollens, des natürlichen Abchlusses des Grimselsees zwischen der Spitallamm- und der Seeufereggsperrre, rd. 40 m unter dem Druckstollen, welcher vom Grimsel- zum Gelmersee führt, und diejenige des Gebietes unter der Geländemulde des ehemaligen Grimselospizes erfolgte mit besonderer Vorsicht zum Zeitpunkt des niedrigen Grimselseestandes. Der minimale Abstand zwischen dem Felstrog des Grimselsees und dem Schacht beträgt 85 m. Der Wasserandrang im ausgebrochenen Stollen war minim. Vor der Einführung der Panzerrohre wurde mittels einer systematischen Felsdrainierung die Entstehung eines statischen Druckes entsprechend dem Grimselseespiegel hinter der Panzerung verhindert, obwohl die satt einbetonierten

Rohre ohne Gefahr diesem Aussendruck standhalten könnten. Um eine einwandfreie satte Umhüllung der Panzerung zu gewährleisten, sind nach der Einbetonierung systematische Hochdruckzementinjektionen zwischen dem Rohr und dem Beton, bzw. zwischen dem Beton und dem Fels unerlässlich. Die sorgfältige Vornahme der Felsdrainierungen gibt die beste Gewähr für den Erfolg der Injektionsarbeiten.

Nach Vollendung der Montage nahm man die Druckprobe des Druckschachtes mit 900 m WS vor. Die freie Leitung und die Verteilung, die gegenwärtig in Montage sind, sollen mit dem gleichen Druck entsprechend einer Ringbeanspruchung von 2250 kg/cm<sup>2</sup> in den normalen Rohren abgepresst werden. Der Ueberdruck von 367 m gegenüber dem maximalen statischen Druck von 533 m ist im Vergleich zu den gewöhnlich bei Druckleitungen gestellten Bedingungen als hoch zu betrachten, er wurde aber mit Rücksicht auf die Druckschläge beim Pumpenbetrieb festgelegt; dieses Problem war der Gegenstand einer sehr eingehenden Untersuchung.

Schluss folgt

## Ideen von Leonardo da Vinci zur Ausnützung der Wasserkräfte

Von Prof. ROBERT DUBS, Zollikon

DK 92 : 93

In der Ausstellung der «Ambrosiana», die Ende 1946 in Luzern stattfand, befand sich auch eine dem «Codex Atlanticus» entnommene Schaufelradstudie von Leonardo da Vinci, die im Ausstellungskatalog unter Nr. 132 als Skizzen und Entwürfe zu «Turbinen» bezeichnet war. Die Originalzeichnung zeigt jedoch weder Titel noch Text, noch findet sich ein Hinweis, der eine Erklärung über den Zweck und die Bedeutung der Skizzen bieten könnte. Die Redaktion der «Neuen Zürcher Zeitung» gelangte damals an den Verfasser mit dem Ersuchen, eine Deutung der Skizzen von Leonardo zu finden, wobei sie ihm eine photographische Verkleinerung (Bild 1) einer solchen Skizze zur Verfügung stellte. In der NZZ vom 9. Oktober 1946 äusserte sich dann der Verfasser wie folgt:

«Da bekannt ist, dass Leonardo da Vinci sich auch als Baumeister betätigte und in dieser Eigenschaft unter anderem auch verschiedene Untersuchungen über die Ausnützung der Wasserkraft durchführte, liegt es nahe zu vermuten, dass die Skizze eine Studie über eine Radialturbine darstellt. Die zwischen den beiden äussersten Kreisen gezogenen Linien (Gerade wie Bogen) können die Schaufeln des Laufrades einer Radialturbine vorstellen. Eine solche Radialturbine ist aber erst im Jahre 1827 von Fourneyron (einem Schüler Burdins) verwirklicht worden. Die Linien zwischen dem innersten und dem zweitäussersten Kreis würden dann die Schaufeln des Leitrades darstellen. Wenn diese Vermutung zutrifft, hätten wir hier einen ersten Vorschlag, vor dem Laufrad einer Turbine ein Leitrad anzuordnen. Die in der Skizze dargestellten ‚Austrittswinkel‘ des ‚Leitrades‘ ergeben bei einer Dreh-

bewegung des ‚Laufrades‘ relative Eintrittswinkel im Laufrad, welche mit den gezeichneten ‚Laufradwinkeln‘ wenigstens qualitativ übereinstimmen. Die Annahme, dass es sich hier um eine Studie für die Konstruktion einer Wasserkraftmaschine handelt, wird dadurch unterstützt, dass sich im Innern der Skizze eine fragmentarische Darstellung einer Mühle befindet, die damals durch Wasserkräfte betrieben wurden. Wenn die Vermutungen zutreffen, wäre das sehr interessante Ergebnis festzuhalten, dass Leonardo da Vinci die Zweckmässigkeit eines Leitrades sowie die Relativbewegung schon erkannt hatte. Leider sind in der Skizze keine Geschwindigkeitsdreiecke gezeichnet, die allein eine sichere Beurteilung des Inhaltes der Skizze ermöglichen würden.»

Der Verfasser erhielt im November 1946 eine Zuschrift von Dipl. Ing. Max Ruoff (Kilchberg), der sich speziell mit den Arbeiten von Leonardo auf hydraulischem Gebiete beschäftigt hatte und die Ansicht vertrat, dass die Skizze (Bild 1) wohl eher ein überschlächtiges Wasserrad mit äusserer und innerer Beaufschlagung darstellen dürfte, wie es etwa 400 Jahre später von Kirchbach unter dem Namen «Hydrovolve» praktisch ausgeführt, aber in der Folge wieder verlassen worden ist. In einer im April 1947 verfassten, ausführlichen Studie, die er als «Diskussionsbeitrag» bezeichnete, versuchte M. Ruoff den Nachweis zu bringen, dass Leonardo mit seiner Skizze an ein überschlächtiges Wasserrad gedacht hätte und nicht an eine Radialturbine. Da der Verfasser die Ansicht von M. Ruoff nicht teilen konnte, einigte man sich dahin, nach Zeichnungen, die M. Ruoff auf Grund der Skizze

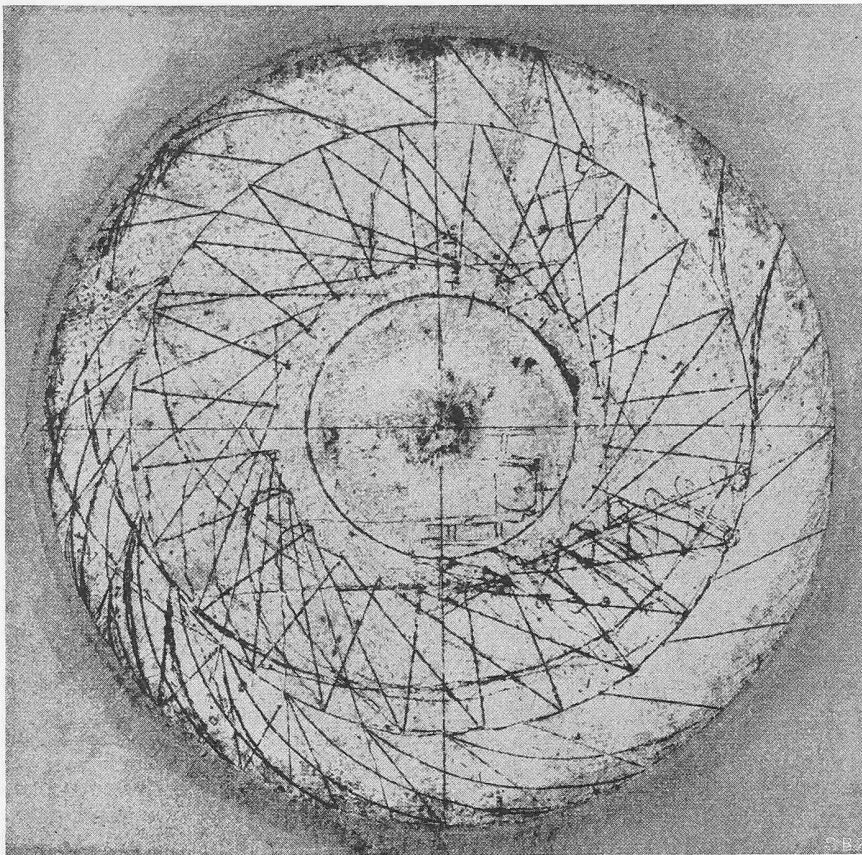


Bild 1. Schaufelstudie von Leonardo da Vinci aus dem «Codex Atlanticus»

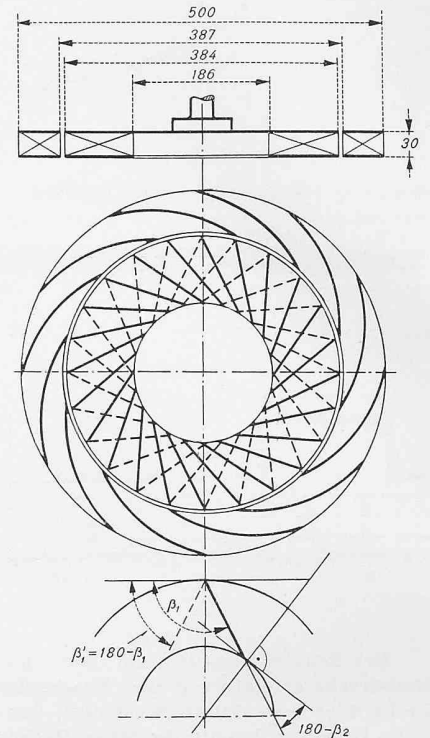


Bild 2. Nachgebildete Radialturbine

von Leonardo anfertigte, eine Modellturbine und auch ein Modellwasserrad auszuführen und beide Maschinen im Institut für Hydraulik und hydraulische Maschinen an der ETH experimentell zu untersuchen. Durch dieses Vorgehen konnte natürlich nicht abgeklärt werden, welche Ideen Leonardo damals bei Anfertigung seiner Skizze beseelten, ob er schon an eine Wasserkraftmaschine dachte, die wir heute als Turbine bezeichnen, oder ob er nur ein oberflächliches Wasserrad besonderer Konstruktion im Auge hatte. Die Versuche mit den beiden Modellen wurden deshalb in erster Linie aus rein wissenschaftlichem Interesse unternommen, um die Wirkungsweise einer nach den Skizzen von Leonardo ausgeführten Maschine festzustellen.

Um möglichst einfache Einbauverhältnisse zu erhalten, wurde eine Radialturbine mit zentripetalem Durchfluss gewählt, wie sie im Jahre 1865 von Francis ausgeführt und untersucht worden ist. Das Bild 2 zeigt das Leitrad und das Laufrad der Modellturbine sowie die Dimensionen, die mit Rücksicht auf geringste Versuchskosten klein gewählt wurden. Die Turbine arbeitete ohne Saugrohr, was bei der Beurteilung der Versuchsergebnisse berücksichtigt werden muss. Im Bild 3 sind die bei einem mittleren Versuchsgefälle von  $H = 0,800$  m gefundenen Ergebnisse in Funktion der Drehzahl  $n$  dargestellt, wobei  $Q$  die konsumierte Wassermenge in  $l/s$ ,  $M_d$  das Drehmoment in  $kg \cdot cm$  und  $N_t$  die Leistung in PS bedeuten. Unter  $\eta$  ist der totale Wirkungsgrad zu verstehen, welcher alle hydraulischen und mechanischen Verluste einschliesst. Wie Bild 3 zeigt, ist der Wirkungsgrad sehr klein, was auch bei der geraden Laufradschaufel infolge des gewählten grossen relativen Eintrittswinkels  $\beta_1$  zu erwarten war.

Um festzustellen, welche Veränderung die Arbeitsweise der Turbine erfährt, wenn man alles unverändert beibehält und nur die Laufradschaufel um eine Radiale spiegelt (gestrichelte Schaufelung in Bild 2) derart, dass der relative Eintrittswinkel nun  $180 - \beta_1$  ist, wurde noch ein Laufrad mit einer solchen Schaufelung ausgeführt und experimentell untersucht. Bild 4 zeigt die Versuchsergebnisse, die nun, wie zu erwarten war, eine ganz bedeutende Verbesserung erfuhren, indem ein maximaler Wirkungsgrad von 53 % erreicht wurde. Mit Rücksicht auf die kleinen Dimensionen und das kleine Gefälle sowie das Fehlen eines Saugrohres darf dieses Ergebnis als bemerkenswert bezeichnet werden. In der Skizze von

Leonardo sind zwischen den beiden inneren Kreisen auch rein radiale Linien zu sehen, die als Schaufeln eines Radiallaufrades angesprochen werden könnten. Es scheint mir dies darauf hinzudeuten, dass Leonardo unter Annahme einer gleichen Zuströmung zum Laufrad (gleiches Leitrad) schon verschiedene Stellungen (d. h. verschiedene  $\beta_1$ ) einer allerdings geraden Laufradschaufel erwogen hat. Auf Grund dieser Überlegungen wurde vom Verfasser die Berechtigung abgeleitet, auch einen Versuch mit einer um eine Radiale gespiegelten Laufradschaufel durchzuführen. Die Skizze von Leonardo kann auch ohne weiteres eine Radialturbine mit zentripetaler Durchströmung darstellen, wobei sinngemäss die gleichen Überlegungen gelten, wie sie oben für eine zentripetale durchströmte Radialturbine gemacht wurden.

Zur Frage, ob es sich um eine Turbine oder ein Wasserrad handelte, kann in Ergänzung der Ausführungen des Verfassers in der «NZZ» noch folgendes bemerkt werden. Bei einem oberflächlichen Wasserrad sind geschlossene Zellen vorhanden und die Arbeitsabgabe des Wassers an das Rad geschieht zum grössten Teil in Form von potentieller Energie. Sollte es sich um ein unterschlächtiges Wasserrad handeln, so hätte der innere Schaufelkranz keinen grossen Sinn. Sollte aber Leonardo bei seiner Skizze an ein oberflächliches Wasserrad ohne Zellen, d. h. mit radialer Durchströmung gedacht haben, so hätten die verschiedenen Schaufelwinkel beim Austritt aus dem äusseren Schaufelkranz und Eintritt in den inneren Schaufelkranz des gleichen Rades keinen Sinn und nur grössere Verluste zur Folge gehabt. Bei der etwa 400 Jahre nach Leonardo ausgeführten und bereits früher erwähnten «Hydrovolve» sind diese Winkel gleich. Verschiedene Schaufelwinkel sind nur berechtigt, wenn es sich um zwei Räder handelt, wobei sich das eine gegenüber dem andern verdreht, wie dies beim Leitrad und Laufrad einer Turbine der Fall ist.

Entsprechend dem Wunsche von M. Ruoff, der im Jahre 1950 gestorben ist, wurde 1949 nach der Skizze von Leonardo noch ein oberflächliches Wasserrad (s. Bild 5) mit gekrümmten Schaufeln angefertigt und experimentell untersucht. Die Versuchsergebnisse mit diesem Rädchen sind für verschiedene Oeffnungen «s» der «Spannschütze» in den Bildern 6a und 6b in Funktion der Drehzahl dargestellt. Man erkennt, dass mit dem kleinen Rädchen ganz beachtliche

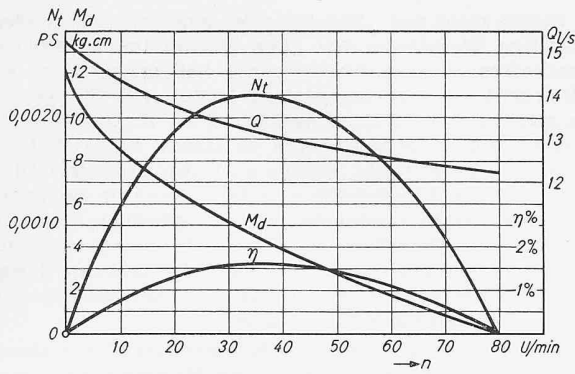


Bild 3. Gemessene Versuchswerte bei Stellung der Laufschaufeln gemäss ausgezogenen Linien in Bild 2

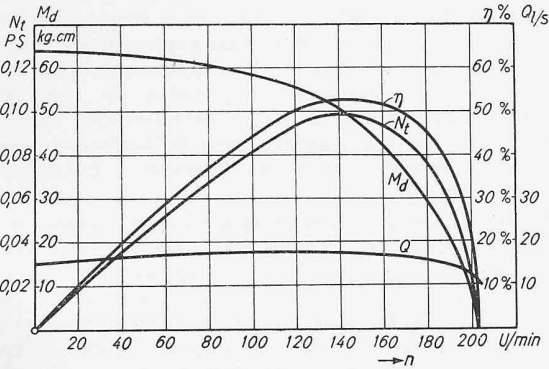


Bild 4. Gemessene Versuchswerte bei Stellung der Laufschaufeln gemäss gestrichelten Linien in Bild 2

### Schweizerische Binnenschiffahrts-Fragen

DK 656.62 (494)

Der Streit um das Kraftwerk Rheinau hat im Kreise des Rhein-Schiffahrtsverbandes Konstanz eine interessante Beleuchtung erfahren, die wir am besten durch den Abdruck folgender Resolution wiedergeben:

«Die Mitgliederversammlung des Rheinschiffahrtsverbandes Konstanz e.V., welche am 6. September 1952 unter besonderer Beteiligung von Vertretern der Bundes- und Landesregierungen, schweizerischer, österreichischer und deutscher befreundeter Verbände, Vertretern zahlreicher oberrheinischer Städte und Kreise, Mitgliedern und Freunden der Rheinschiffahrt in Rheinfelden/Baden tagte, nahm mit besonderer Freude und Genugtuung Kenntnis von den Ausführungen des Bundesverkehrsminister, Dr. Ing. Ch. Seeböhm, und des Innenministers des Landes Baden-Württemberg, F. Ulrich, welche sich beide in bejahender Form zu den Fragen der Schiffbarmachung des Hochrheins von Basel zum Bodensee bekannten und im Rahmen der gegebenen Möglichkeiten Hilfe und Unterstützung zusagten. Die Mitgliederversammlung brachte im Vertrauen auf diese wertvollen Erklärungen erneut ihren Willen zum Ausdruck, dass sie die Schiffbarmachung des Hochrheins von Basel zum Bodensee als eine Aufgabe unserer Zeit und nicht erst der kommenden Generationen betrachtet, und dass sie in Zusammenarbeit mit der Bundesregierung, der Landesregierung Baden-Württemberg und in freundschaftlichem Verhältnis mit der Schweiz und Oesterreich die Arbeiten vorwärtstreiben will, um ihr Ziel in einer überschaubaren Zeitspanne zu erreichen. Der Rheinschiffahrtsverband Konstanz e.V. übernimmt die Verpflichtung, durch wirtschaftliche Untersuchungen das Material zu erarbeiten und den zuständigen deutschen Regierungsstellen zur Verfügung zu stellen, das als wichtige Grundlage für die letzte Entscheidung unerlässlich sein wird. Der Rheinschiffahrtsverband glaubt mit vollem Recht sich dafür einsetzen zu können, dass die Grossschiffahrtsstrasse Basel-Bodensee zum Segen der gesamten Bevölkerung des Hochrhein- und Bodenseegebietes in Deutschland, der Schweiz und Oesterreich bereits unserer Generation zugute kommen soll.»

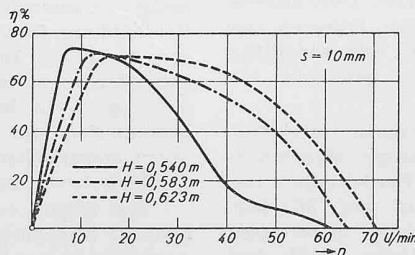
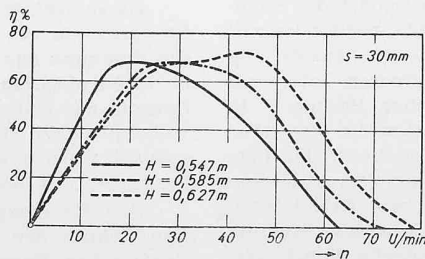
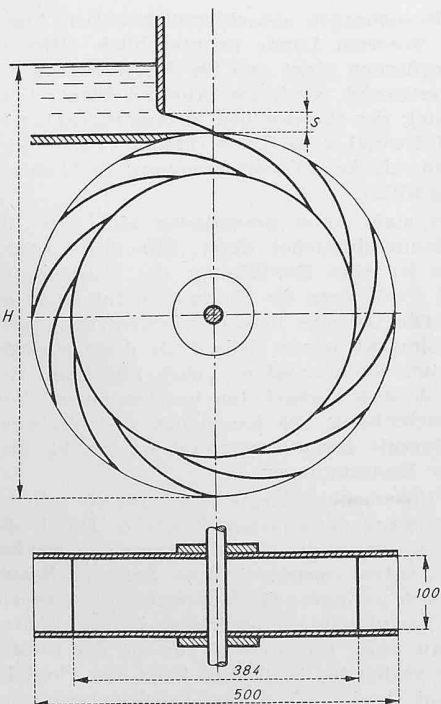
Diese Resolution fand den Beifall der rd. 300 Teilnehmer, unter denen schweizerischerseits Dir. F. Kuntschen und Ing. Dr. M. Oesterhaus vom A. f. W. anwesend waren, sowie zahlreiche weitere Fachleute, die mit der Rheinschiffahrt verbunden sind. In den Worten des deutschen Verkehrsministers kam die eindeutige Zustimmung zur Haltung des Schweizerischen Bundesrates in der Rheinaufgabe zum Ausdruck; weiter betonte er, dass die kommende Hochrheinkanalisation Basel-Bodensee untrennbar verbunden sei mit der vor dem Abschluss stehenden Oberrheinregulierung Strassburg-Basel, und zwar sowohl in verkehrswirtschaftlicher wie in völkerrechtlicher Hinsicht (Vertrag von 1929).

Wie aus der Tagespresse bekannt ist, sammelt das «Ueberparteiliche Komitee zum Schutze der Stromlandschaft Rheinfall-Rheinau» Unterschriften für zwei eidgenössische Verfassungsiniciativen, deren erste die Aufnahme der aus Art. 22 des Eidgenössischen Wasserrechtsgesetzes bekannten Naturschutzformel (siehe SBZ 1952, Nr. 30, S. 425) in Art. 24bis der Bundesverfassung vorsieht, ferner die Aufhebung der erteilten Konzession zum Bau des Werkes Rheinau fordert und verlangt, dass auch keine solche mehr erteilt werden darf. Die zweite Initiative will die Kompetenz zur Erteilung von Wasserrechtskonzessionen dem Bundesrat entziehen und sie den Eidgenössischen Räten erteilen, sowie deren diesbezügliche Beschlüsse dem fakultativen Referendum unterstellen.

Mit diesen Initiativen befasste sich der Nordostschweiz. Verband für Schiffahrt Rhein-Bodensee anlässlich seiner Generalversamm-

Wirkungsgrade, allerdings nur bei kleinen Drehzahlen, erzielt wurden. Um den Einfluss des Nutzgefälles  $H$  auf den Wirkungsgrad  $\eta$  festzustellen, wurden die Versuche jeweils bei drei verschiedenen Nutzgefällen durchgeführt. Es war dann noch mit M. Ruoff vereinbart worden, weitere Versuche mit einem überschlächtigen Wasserrad mit äusserem und innerem Schaufelkranz und radialer Durchströmung (ähnlich der Hydrovolve) durchzuführen; das Material für diese Versuche wurde auch vorbereitet. Infolge Rücktritt des Verfassers vom Lehramt im Frühjahr 1950 kamen diese Untersuchungen nicht mehr zur Ausführung.

Aus diesen Darlegungen geht hervor, dass die Skizze von Leonardo da Vinci zu Untersuchungen angeregt hat, die interessante, wenn auch heute nicht durchwegs neue Ergebnisse zeitigten.



Bilder 6a und 6b. Gemessene Versuchswerte bei verschiedenem Gefälle

Bild 5 (links). Überschlächtiges Wasserrad, nachgebildet aus der Studie Bild 1