Zeitschrift: Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 80 (1988)
Heft: 7-8

Artikel: Römischer Wasserbau in der Schweiz
Autor: Schnitter, Niklaus
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-940721

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: 03.07.2025

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

Römischer Wasserbau in der Schweiz

Niklaus Schnitter

Zusammenfassung

Von der fast fünfhundertjährigen Vorherrschaft der Römer in der Schweiz sind auch zahlreiche Zeugen ihres Wasserbaus erhalten geblieben. Am bekanntesten sind davon wohl ihre Grosswasserversorgungen von Städten, die in der Schweiz allerdings eher bescheidene Dimensionen aufweisen. Dazu kommen weitere Anlagen des städtischen Wasserbaus und mehrere Kleinwasserversorgungen von Einzelsiedlungen. Unter den übrigen Wasserbauten sticht der Entwässerungsstollen vom Lüscherzer Moos zum Bielersee hervor sowie der Hafen von Avenches und andere Flussbauten. Am Schluss wird auf den Beginn der Wasserkraftnutzung in der Antike eingegangen, für die bei Cham wichtige Zeugen gefunden wurden. Richtig zum Tragen kam die Erfindung auch bei uns allerdings erst im Zeichen der «industriellen Revolution» des 12. Jahrhunderts (Gotik).

Summary:
Roman Hydraulic Engineering in Switzerland

From almost five centuries of Roman rule in Switzerland there remain many traces also of their hydraulic engineering. Best known are the large water supply schemes for cities, which in Switzerland were rather modest. These are supplemented by further hydraulic works in cities and several water supply schemes to small settlements. Among other hydraulic engineering feats of special interest are a drainage gallery from the Lüscherz swamps to the lake of Bienne, the harbour of Avenches and some river training works. Finally the beginnings of water power utilization in antiquity are recalled, for which important findings were made near Cham. The full exploitation of this development occured, however, only during the "industrial revolution" of the 12th century (Gothic).

Résumé:
Constructions hydrauliques romaines en Suisse

Des cinq siècles de leur domination en Suisse les Romains nous ont livré de nombreux témoignages de leur art en matière de construction hydraulique. Les plus connus sont évidement leurs importants systèmes d'alimentation en eau urbaine, qui ne présentent toutefois en Suisse que des modestes dimensions. A ceux-ci s'ajoutent d'autres ouvrages hydrauliques dans les villes et plusieures petites installations d'approvisionnement en eau pour des établissements isolés. Au chapitre des autres ouvrages hydrauliques il faut particulièrement noter la galerie de drainage percée des marais de Lüscherz en direction du Lac de Bienne, le port d'Avenches ainsi que quelques ouvrages fluviaux. Il est finalement fait mention des débuts de l'utilisation de l'énergie hydraulique dans l'Antiquité, que viennent illustrer d'importantes découvertes archéologiques près de Cham. Cette invention n'a toutefois été pleinement exploitée, ici comme ailleurs, que sous l'égide de la «révolution industrielle» du 12e siècle (période gothique).

Einleitung

Abgesehen von einer Quellfassung bei St. Moritz/GR [1] und einer Zisterne bei Savognin/GR [2], die beide im wesentlichen aus in den Boden eingelassenen grossen Holzkisten bestehen und aus der Bronzezeit stammen (1250 bzw. 1500 v.Chr.), gehen alle frühen Wasserbauten in der Schweiz auf die Römer zurück. Nach der Schlacht von Bibrakte in Ostfrankreich 58 v.Chr., in welcher *C. J. Cäsar* (100–44 v.Chr.) die keltischen Helvetier in ihrem Auswanderungszug nach Südfrankreich aufhielt und nach Hause zurückschickte, geriet bis 15 v.Chr. das ganze Gebiet der heutigen Schweiz unter römische Herrschaft. So blieb es bis Mitte des 5. Jahrhunderts n.Chr., das heisst über einen Zeitraum, der etwa demjenigen seit der Reformation bis heute entspricht. Die Bevölkerung der Schweiz dürfte damals nur einige hunderttausend Menschen umfasst haben, die zur Hauptsache im Mittelland zwischen Genfer- und Bodensee lebten.

Grosse Wasserversorgungen

Die Wasserzuleitungen zu den grösseren Ortschaften bzw. Militärstationen stellen die bekanntesten Wasserbauten der Römer dar. Diese waren in einem Ausmass auf Wasser, vor allem für Badezwecke, versessen, wie es erst wieder in unserem Jahrhundert erreicht und möglicherweise übertroffen wurde. Sie scheinen keine Mühe und Kosten gescheut zu haben, um das köstliche Nass in guter Qualität und reichlichen Mengen nicht nur ihren Städten, sondern selbst Einzelsiedlungen zuzuführen. Entsprechend hoch entwikkelt und in gewissem Sinne standardisiert war die dabei zur Anwendung gelangte Technik. Meistens, aber nicht immer (wie noch oft gemeint wird), waren die römischen Wasserzuleitungen auf drucklosen Freispiegelabfluss ausgelegt und folgten dem Gelände somit möglichst genau und mit geringem Gefälle.

Das erforderte eine recht präzise Vermessung, für die Massstäbe und Messlatten, Bleilote, Zirkel und Zählrahmen (als Taschenrechner) zur Verfügung standen [3]. Rechte Winkel wurden mit einem horizontalen Kreuz abgesteckt, an

Tabelle 1. Grosse römische Wasserleitungen in der Schweiz.

Stadt	Quelle	Länge (km)	Mittl. Gefälle (‰)	Benetzbarer Querschnitt (m^2)	Fördermenge (m^3/Tag)
Avenches	Bonne Fontaine	17	~ 5	0.20	5000
	Coppet	4	1.1		
	Oleyres	2.8			
Nyon	Divonne	11	~ 5	0.35	
Augst	Ergolz	6.5	~ 2	0.60	
Windisch	Süss – Vetus	2.2	~ 6	0.22	
	Süss – Novus	2.2	~ 6	0.15	
Andere transalpine Provinzstädte.					
Lyon	Mont d'Or	26	4.2	0.28	10000
	Yzeron	~30	~ 1	0.33	13000
	Brévenne	66	0.8	0.85	28000
	Gier	75	1.2	0.78	25000
Metz	Bouillons (Gorze)	22	1.0	0.88	
Trier	Ruwer	13	0.6	0.67	25000
Köln	Eifel	90	3.6	0.54	20000
Mainz	Finthen/Drais	6	> 10	nicht mehr bestimmbar	
Wien	Gumpoldskirchen	16	?	?	6000

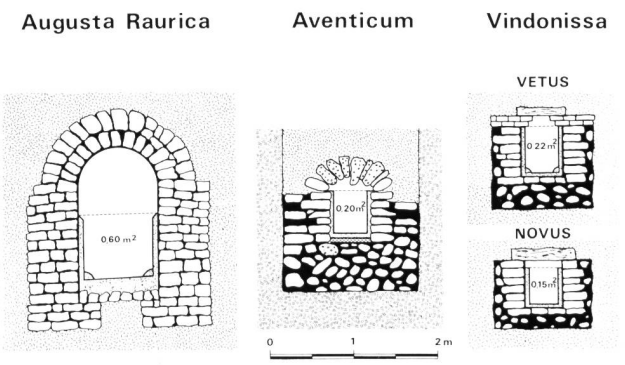


Bild 1. Typische Querschnitte der drei grossen Wasserzuleitungen nach Augst/BL (Augusta Raurica), Avenches/VD (Aventicum) und Windisch/AG (Vindonissa); die Flächenangaben beziehen sich auf den benetzbaren Querschnitt bis zur Oberkante des wasserdichten Verputzes.

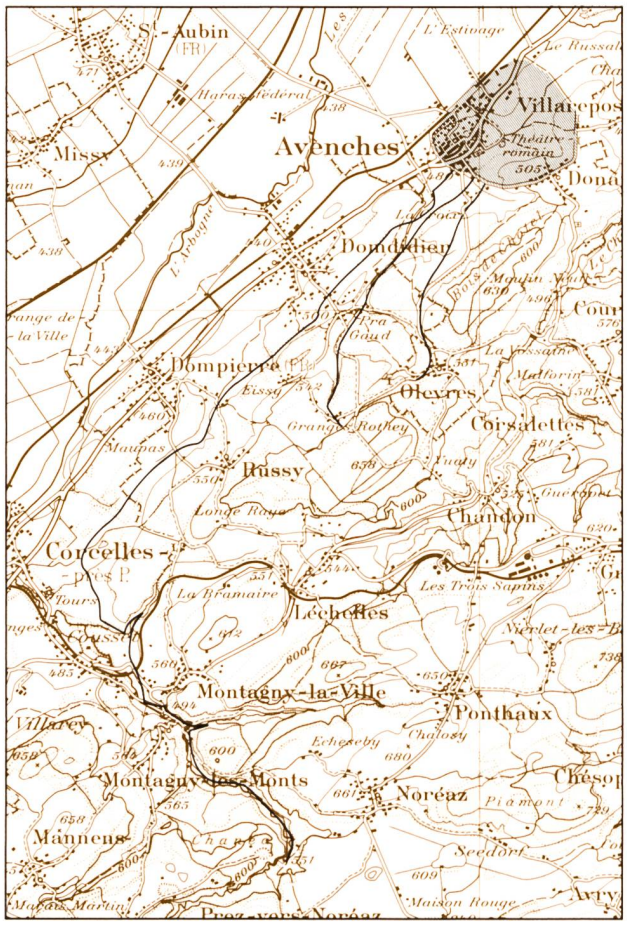


Bild 2. Trassees der drei wichtigsten Wasserzuleitungen nach Avenches/VD; längste = Bonne Fontaine, mittellange = Coppet, kürzeste = Oleyres (Landeskarte 1:100000 reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 10. März 1988).

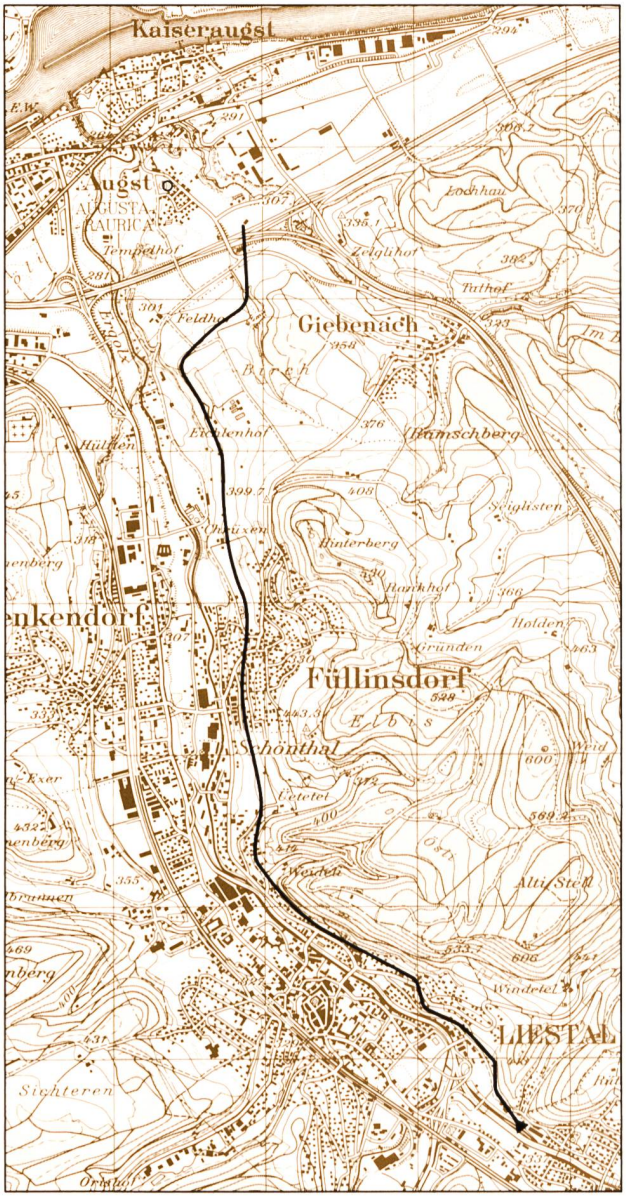


Bild 3. Trassee der Wasserzuleitung nach Augst/BL (Landeskarte 1:50000).

Bild 4. Trassee der Wasserzuleitung nach Windisch/AG (Landeskarte 1:50000).

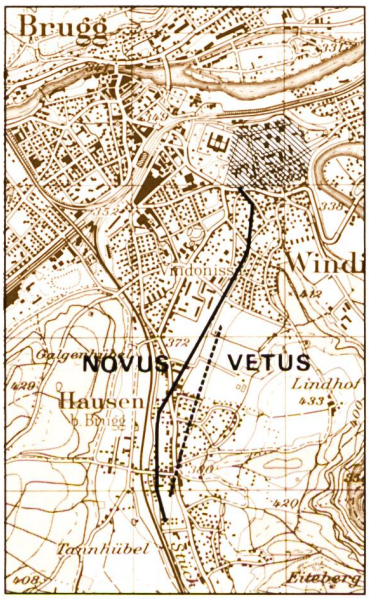
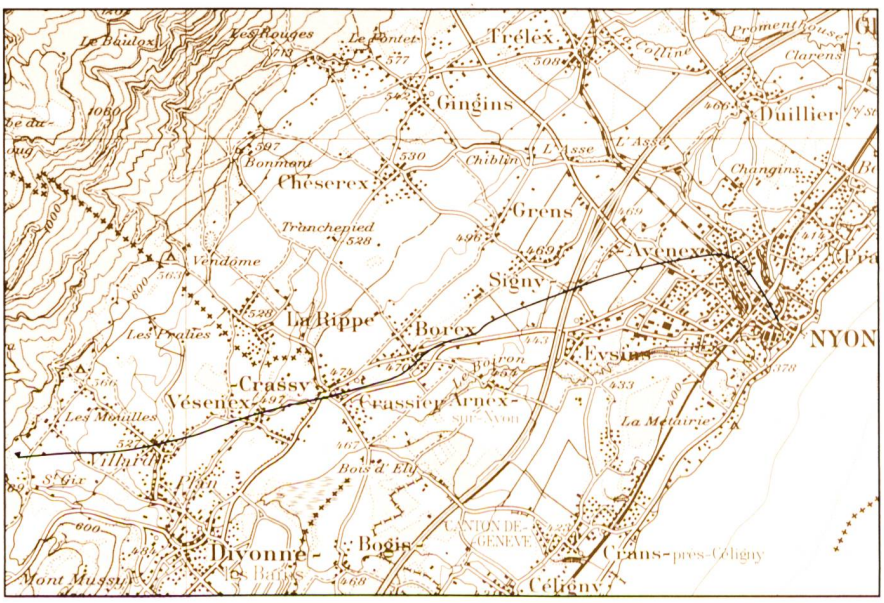


Bild 5. Trassee der Wasserzuleitung nach Nyon/VD (Landeskarte 1:100000).



dessen vier Enden Bleilote hingen. Bleilote und Marken an den Stützstreben dienten dem Richten etwa 6 m langer Nivellierlatten neben der in ihrer Oberfläche eingefrästen Wasserrinne bzw. -waage. Das letztgenannte, eher schwerfällige Gerät wurde wohl nur für die Hauptvermessung verwendet, während Zwischenpunkte durch Zielen über drei Pfosten mit Querbalken abgesteckt wurden. Allerdings scheinen die römischen Baumeister mit der Einhaltung der Gefälle etwelche Mühe gehabt zu haben, vor allem wenn der Bau einer Wasserzuleitung in mehreren, gleichzeitig in Angriff genommenen Losen erfolgte. Wie eine detaillierte Untersuchung der vier grössten Wasserzuleitungen zur Stadt Rom, welche je 100000 bis 200000 m^3/Tag förderten, zeigt, schwankt das Gefälle entlang einer einzelnen Leitung im Verhältnis von 1:100 (zwischen 0,1 und 10‰). Die Querschnittsabmessungen variieren demgegenüber «nur» im Verhältnis von 1:3 [4].

Deshalb ist bei der Zuordnung von «Regelquerschnitten» oder gar Fördermengen zu einzelnen Wasserzuleitungen grösste Vorsicht geboten, und vor allem letztere können nicht mehr als Grössenordnungen wiedergeben. In diesem Sinne sind in Tabelle 1 die vier wichtigsten römischen Wasserzuleitungen in der Schweiz denjenigen einiger anderer transalpiner Städte gegenübergestellt. So gesehen gehören die schweizerischen Anlagen eher zu den kleinen. Zudem verlaufen sie auf ganzer Länge in wieder eingedeckten Gräben, der bevorzugten Bauweise römischer Wasserzuleitungen. Es fehlen also in der Schweiz sowohl Stollen als auch Bogenreihen bzw. Aquädukte, die gemeinhin als Inbegriff römischer Wasserbautechnik gelten. Auch von den Verteilbecken an den Leitungsenden sind nirgends Überreste erhalten geblieben, ebensowenig wie von grösseren Fassungsbauwerken. Dafür geben die übrigen Charakteristiken der grossen römischen Wasserzuleitungen in der Schweiz, wie namentlich ihre Querschnitte, einen guten Überblick über die je nach Leitungsgrösse angewandten Konstruktionen (Bild 1).

Das umfangreichste Wasserbeschaffungssystem liegt beim ehemaligen helvetischen Hauptort Avenches/VD (Aventicum) 32 km südwestlich von Bern vor [5]. In Bild 2 sind allerdings nur die drei südwestlichen Zuleitungen dargestellt, weil man von den drei anderen im Süden bzw. Osten der Stadt wohl die Eintrittspunkte in diese kennt, aber weder die Herkunftsorte noch ihren Verlauf. Offensichtlich mussten immer wieder weitere der zahlreichen, aber nicht sehr ergiebigen Quellen in der Umgebung erschlossen werden. Deshalb weist selbst der Querschnitt der längsten Zuleitung von Bonne Fontaine bescheidene Abmessungen auf, was wiederum eine einfache Überwölbung aus Trockenmauerwerk ohne Kalmmörtel und Stützschalung erlaubte (Bild 1, Mitte).

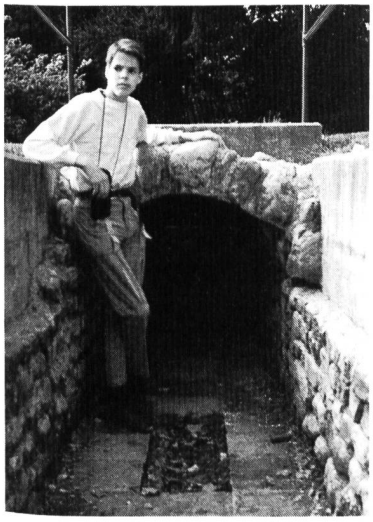


Bild 6. Querschnitt der Zuleitung nach Nyon/VD bei Mangette ob der Stadt; keine Bodenplatte und unverputzte Wände, da Untergrund wasserundurchlässig. Die Bodenplatten auf dem Bild sind neu (Foto des Autors).

Die klassische Konstruktion mit geschaltem Gewölbe zeigt der viel grössere Querschnitt der einzigen Zuleitung nach der nicht minder bedeutenden Stadt Augst/BL (Augusta Raurica) 10 km östlich von Basel [6] (Bild 1, links). Im Gegensatz zu den Quellwasserzuleitungen von Avenches zapfte sie einen Bach, die Ergolz, an und folgte deren Lauf bis kurz vor ihrem Ende (Bild 3). Dieses befindet sich im Abhang der Hügel südlich der Stadt, rund 15 m über ihr. Damit stand genügend Druck zur Verfügung für die Wasserverteilung in der Stadt mittels Blei- oder Holzröhren. Von beiden hat man interessante Überreste gefunden, von den durchbohrten Baumstämmen oder «Deucheln» zwar nicht mehr das Holz selbst, sondern die ebenfalls röhrenförmigen Sinterablagerungen und die eisernen Verbindungsringe zwischen den einzelnen Röhren.

Die kurze und kleine Wasserleitung zur Militärstation Windisch/AG (Vindonissa) 26 km nordwestlich von Zürich ist in dreierlei Hinsicht bemerkenswert [7]. Erstens erschloss sie weder ein Fliessgewässer noch Quellen, sondern direkt das Grundwasser (Bild 4). Um diesem den Eintritt in die Leitung zu gestatten, bestehen die Seitenwände im ersten Viertel ihrer Länge aus Trockenmauerwerk und sind unverputzt. Der Abdeckung der Rinne dient kein Gewölbe, sondern Steinplatten (Bild 1, rechts). Zweitens liegen bei der Windischer Leitung zwei Baustadien vor, ein grösseres älteres (vetus) und ein kleineres neueres (novus). Der Übergang vom einen zum anderen könnte im Gefolge des ersten grossen Alemanneneinbruches um 260 n. Chr. erfolgt sein. Drittes bemerkenswertes Merkmal: Die neuere Leitung ist heute noch in Betrieb, und im Keller des Altersheimes von Windisch kann man in einem freigelegten Leitungsstück das Wasser fliessen sehen!

Die weit nach Westen, jenseits der heutigen Landesgrenze, ausgreifende Zuleitung nach Nyon/VD (Colonia Julia Equestris) 21 km nordöstlich von Genf ist nur dürftig erforscht (Bild 5) [8]. Ihr grosser Querschnitt ist hydraulisch schlecht genutzt, da der wasserdichte Verputz, dort wo er nötig ist, nur 40 cm über die Sohle reicht (Bild 6). Lediglich bruchstückhaft bekannt ist die Zuleitung aus der Gegend von Annemasse in Frankreich nach Genf (Genava) [9]. An der Landesgrenze bei Moillesulaz hat man im Bett des Foron ein Fundament des Aquäduktes über diesen gefunden, und die bei Chêne ergrabenen Leitungsreste weisen einen benetzbaren Querschnitt von rund 0,4 m^2 auf und sind überwölbt. Um den Stadthügel zu erreichen, auf dem heute die Kathedrale St. Pierre steht, scheint sie in einer Dückerleitung geendet zu haben, wie sie in viel grösserem Ausmass von drei der Zuleitungen nach Lyon her bekannt sind (Tabelle 1).

Übriger Siedlungswasserbau

Neben den beschriebenen grossen öffentlichen Wasserversorgungen verfügten die Bewohner der Ortschaften, die nicht zu hoch über dem Grundwasser lagen (wie z. B. Windisch), oft noch über private Sodbrunnen. Die öffentliche Wasserversorgung endete für die meisten ja am Quartierbrunnen, und nur wenige konnten sich einen Hausanschluss leisten oder waren dazu berechtigt. Die öffentlich und privat geförderten, grossen Wassermengen wollten aber auch wieder entsorgt werden. Verschiedene Überreste von ähnlich der Wasserzuleitung konstruierten Kanalisationen liegen in Augst vor [6].

Ein schönes Beispiel eines Netzes von gemauerten Abwasserkanälen wurde an der «Rue de la Basilique» im Forum

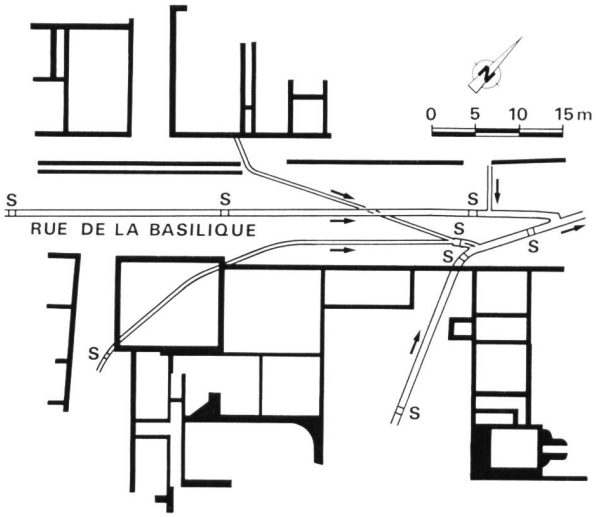


Bild 7. Plan der gemauerten Abwasserkanäle in der «Rue de la Basilique» im Forum von Martigny/VS (S = Kontrollschacht).

von Martigny/VS (Octodurus) 26 km südwestlich von Sitten ergraben [10]. Bild 7 zeigt den Hauptkanal von 0,8 × 1,2 m in Strassenmitte, der sich im Nordosten mit einem solchen aus Süden vereinigt, sowie kleinere Nebenableitungen und zahlreiche Kontrollschächte.

Doch, wie schon erwähnt, wurden von den Römern nicht nur grössere Ortschaften mit ausgefeilten Wasserver- und -entsorgungsanlagen versehen, sondern auch einzelne Gutshöfe. Dafür gibt es in der Schweiz eine Reihe guter Beispiele [11]. Die einfachsten Leitungen waren aus Holz wie z.B. zum römischen Wohnhaus bei Bellikon/AG 14 km westlich von Zürich, wo allerdings keine physischen Reste wie für die erwähnten Verteilleitungen in Augst gefunden werden konnten. Der Fall war dies 1975 in Yverdon/VD (Eburodunum) 27 km nördlich von Lausanne, wo ein ganzer «Deuchel» von 2,5 m Länge gefunden wurde [12] und 1980 in Oberwinterthur/ZH (Vitudurum) 22 km nördlich von Zürich [13]. Leitungen aus Bleiröhren scheinen für ländliche Wasserversorgungen nicht verwendet worden zu sein und solche aus Tonröhren nur selten [11]. Deren eindeutige Zuweisung in die römische Zeit ist oft nicht möglich, da es eine Vielzahl von Rohrtypen gibt und Fabrikationsmarken oder Begleitfunde oft fehlen (Bild 8).

Eher selten sind auch gemauerte Kleinwasserleitungen. Bild 9 zeigt die typischen Querschnitte von sechs solchen Leitungen, von denen drei ähnlich konstruiert sind wie die neuere Zuleitung nach Windisch (Bild 1, rechts unten). Allerdings bestehen die Seitenwände in Neftenbach/ZH 20 km nordöstlich von Zürich und beim Hardhof/AG 14 km östlich von Basel aus reinem Kalkmörtel statt aus Mauerwerk [11]. Die erstgenannte Leitung konnte übrigens auf 750 m Länge verfolgt werden, über die sie ein Gefälle von 4,5‰ aufweist. Die Leitung von Rüti bei Bühren/BE 23 km nördlich von Bern besteht aus Kalksteinblöcken, aus denen

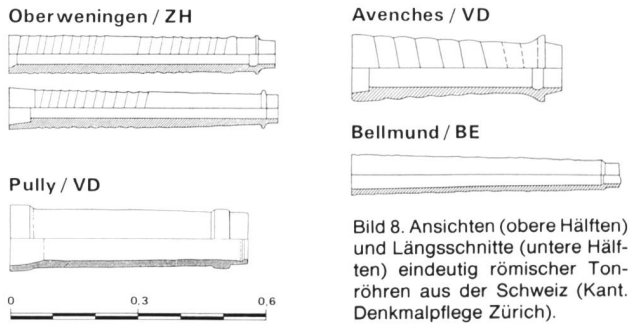


Bild 8. Ansichten (obere Hälften) und Längsschnitte (untere Hälften) eindeutig römischer Tonröhren aus der Schweiz (Kant. Denkmalpflege Zürich).

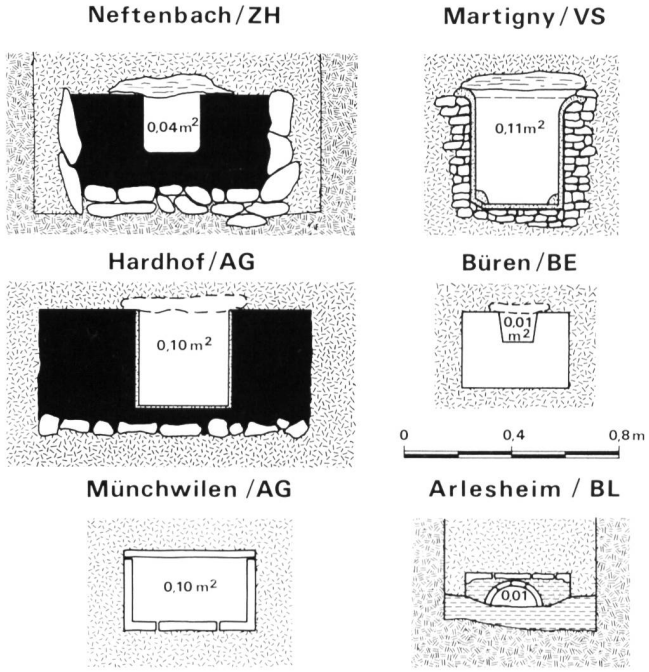


Bild 9. Typische Querschnitte von gemauerten, steinernen und tönernen Kleinwasserleitungen.

die Wasserrinne herausgemeisselt ist (Bild 9, Mitte rechts, nach kant. Denkmalpflege Zürich). Etwas sonderbar muten die aus gebrannten Tonplatten bzw. -ziegeln bestehenden Leitungen von Münchwilen/AG 28 km östlich von Basel [14] und von Arlesheim/BL 7 km südlich von Basel [11] an. Bei letzterer fliesst das Wasser auf einem Lehmschlag, eine Konstruktion, die nur bei geringer Fliessgeschwindigkeit stabil bleiben kann.

Ein wichtiges Element der Einzelwasserversorgung war, wo anwendbar und wie zuvor schon für städtische Verhältnisse beschrieben, der Sodbrunnen [11]. Ein solcher von 20 m Tiefe bei 0,95 m Durchmesser wurde auf dem heutigen Münsterplatz von Basel gefunden. 6 km südwestlich davon, in Muttenz/BL, fand man gar einen 25 m tiefen und 1,4 m weiten Sodbrunnen. Das schönste Beispiel ist zweifellos derjenige von Seeb/ZH 12 km nördlich von Zürich, obschon er nur 6 m tief ist bei einem Durchmeser von 1,2 m. Dafür haben sich bei ihm grosse Teile des der geschützten Wasserentnahme dienenden Brunnenhauses erhalten (Bild 10).

Weitere Wasserbauten

Unter dieser Rubrik ist an erster Stelle ein römischer Stollen zu nennen, dessen Sohle 1858 angefahren wurde beim Bau eines Torfentwässerungs- und -transportstollens vom Lüscherzmoos zum Bielersee bei Hagneck/BE 24 km nordwestlich von Bern [15] (Bild 11). 1874 wurden beim Bau des Hagneckeinschnittes des Aarekanals im Zuge der ersten Juragewässerkorrektion gut zwei Drittel seiner Länge ergraben (und zerstört!). Er diente offensichtlich auch der Entwässerung und fügt sich somit in die Reihe der von alters her von den Römern in Italien zur Kulturlandgewinnung gebauten Entwässerungsstollen (Tabelle 2).

Diese wurden, wie auch die weitaus meisten Wasserversorgungsstollen, nicht von beiden Enden aus vorgetrieben, sondern nach der iranischen «Qanat»-Technik erstellt, das heisst durch beidseitigen Vortrieb von in kurzen Abständen abgeteuften Vertikalschächten aus. Damit wurde einerseits die Vermessung stark vereinfacht und anderseits die Bau-

Tabelle 2. Römische Entwässerungsstollen.

Ort	Lage	Zeit	Länge (m)	Gefälle (‰)	Höhe (m)	Breite (m)	Anzahl Schächte
Ariccia	30 km SE Rom	500 v. Chr.	607	4,5	sehr unregelmässig		12
Lago Albano (Castel Gandolfo)	30 km SE Rom	396 v. Chr.	1200	–	2 – 3	1,3	–
Lago di Nemi (Genzano)	30 km SE Rom	–	1653	7,6	~3	~1	–
Lago Fucino	80 km E Rom	41 – 52 n. Chr.	5643	1,5	3,0	1,8	32
Lüscherzmoos (Hagneck)	10 km SW Biel	–	670	3,4	~1,7	0,8	~15

zeit erheblich verkürzt, weil ja in mehreren oder, wenn nötig, in allen Schächten gleichzeitig gearbeitet werden konnte. Dafür musste eine beträchtlich längere Gesamtstrecke ergraben werden, so dass nun der Minimalaufwand für diese und nicht die Gerade das optimale Trassee ergab.

Letzteres gilt auch für den Hagneckstollen, beschreibt er doch im Grundriss einen leichten Bogen. Auf seiner Gesamtlänge von etwa 670 m dürfte er an die 15 Schächte haben, von denen 6 gefunden wurden. In standfestem Sandstein weist er einen knapp begehbaren Querschnitt auf, während dieser im gebrächen Mergel derart erweitert wurde, dass der Raum unter dem Einbau begehbar blieb (Bild 11, oben rechts). Wie Brandspuren belegen, wurde hartes Gestein durch Feuer und Abschreckung mit Wasser mürbe gemacht, ein Verfahren, das im Hinblick auf den Rauchabzug auch nur bei der «Qanat»-Technik anwendbar war.

Ein Rätsel gibt die Höhenlage des Stollens auf, liegt die Sohle seines Einlaufs doch auf rund 438 m ü.M. oder etwa 1 m über dem heutigen tiefsten Punkt des Lüscherzmoos. Er diente wohl auch nicht dessen Entwässerung, was nur einen bescheidenen Kulturlandgewinn gebracht hätte. Vielmehr dürfte der Stollen die Heerstrasse Avenches–Augst vor Überflutung geschützt haben, welche nördlich von Kallnach/BE das Grosse Moos überqueren musste auf dem Weg zur Militärstation Petinesca (bei Studen/BE südöstlich von Biel). Das Gelände liegt daselbst heute auf etwa 443 m ü.M., so dass genügend Fallhöhe zur Verfügung stand für einen rund 4 km langen Abzugsgraben zum Stolleneinlauf, etwa im heutigen Trassee des Aarekanals. Man darf zudem die heutigen Koten, vor allem in einem versumpften Gelände, nicht den antiken Werten gleichsetzen, die ohne weiteres einige Meter höher oder tiefer gewesen sein können.

Trotz bzw. neben ihren berühmten Strassenbauten, wie der eben genannten, massen die Römer der Schiffahrt auf fliessenden und stehenden Gewässern grosse Bedeutung zu, vor allem für den Transport von Massengütern, wie der Baumaterialien für ihre Städte und Ortschaften. Ein schönes Beispiel für die dazu erforderlichen Hafenbauten liegt in Avenches vor [16] (Bild 12). In einer ersten Phase wurde eine Hafenmole in den See hinaus gebaut, bestehend aus einer mit Kies hinterfüllten Holzwand, deren wasserseitiger Fuss mit Blockwurf geschützt war. Angesichts des Absinkens des Wasserspiegels des Murtensees entschloss man sich rund 140 Jahre später zur Anlage eines kurzen Schiffahrtskanals, der das Hafengebiet zudem erheblich näher an Avenches heranbrachte. Die Anfangsstrecke des Kanals war wiederum mit einer Wand aus Holzpfählen und -brettern versehen.

Reste von Pfahlsetzungen, welche die Fundamente von Schiffsländen bildeten, wurden bei der Vergrösserung des Broyekanals zwischen Murten- und Neuenburgersee 1962 bis 1967 im Zuge der zweiten Juragewässerkorrektion an mehreren Stellen entlang dessen östlichem Drittel gefunden [17]. Am westlichen Ende kamen weitere Pfahlreste einer schon anlässlich der ersten Juragewässerkorrektion entdeckten Uferbefestigung zum Vorschein. Ebenfalls dem Uferschutz diente eine analoge Holzwand, die bei Carouge/GE 2 km südlich des vorgenannten Stadthügels von Genf gefunden wurde [18]. Daselbst befand sich nahe der Aussenseite einer Kurve des Wildbaches Arve ein Militärlager.

Anfänge der Wasserkraftnutzung

Die Idee zur Nutzung des Strömungsdruckes und/oder der Schwerkraft des Wassers als Energiequelle ist alt (Tabelle 3). *Philon von Byzanz* beschrieb 230 v.Chr. gar schon das Reaktionsrad (= Gartensprenger), das erst in den Turbinen des 19. Jahrhunderts zur praktischen Anwendung gelangte. Die Idee der Wasserkraftnutzung kam im römischen Reich und in China, trotz etwelchen Kontakten, wohl unabhängig, aber fast gleichzeitig auf. Ferner entwickelte sich das horizontale Wasserrad (Stockmühle) parallel zum vertikalen (vitruvschen) Rad, ebenso wie dessen verschiedene Beaufschlagungsarten (ober-, mittel- und unterschlächtig). Doch lange haperte es mit der Anwendung der neuen Erkenntnisse. Dies änderte sich erst in der Spätantike, als die durch die Stagnation und gar Kontraktion des römischen Reiches bewirkte Verknappung des Nachschubs von Sklaven sowie die christlich-humanere Einstellung zu ihnen technische Ersatzlösungen für die Energiebeschaffung attraktiv erscheinen liessen.

Im 3. und 4. Jahrhundert mehren sich die physischen Zeugnisse für die Nutzung der Wasserkraft und ein bedeutendes derselben stammt aus Hagendorn beim Cham/ZG 21 km südlich von Zürich [19]. Daselbst wurden in einem alten

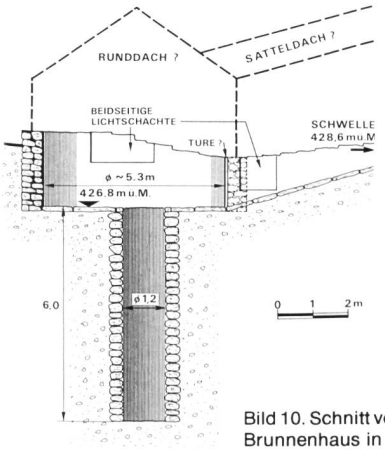


Bild 10. Schnitt von Sodbrunnen und Brunnenhaus in Seeb/ZH.

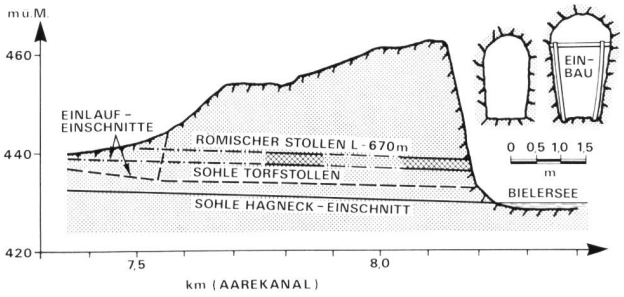


Bild 11. Zehnfach überhöhter Längsschnitt und Querschnitte in Sandstein (links) und Mergel (rechts) des Entwässerungsstollens bei Hagneck/BE.

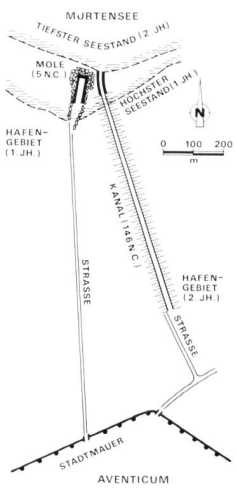


Bild 12. Plan der Hafenanlagen von Avenches/VD (Detaildatierungen aufgrund der Jahrringmethode).

Tabelle 3. Zeugnisse antiker Wasserkraftnutzung

230 v. Chr.	Beschreibung kleiner vertikaler Wasserräder und des Reaktionsrades durch *Philon von Byzanz.*
88 v. Chr.	Getreidemühlen mit Wasserradantrieb in Cabira, 350 km östlich Ankara/Türkei.
85 v. Chr.	Ode des *Antipater* über Getreidemühlen mit Wasserradantrieb.
65 v. Chr.	Beschreibung strömungsgetriebener Wasserschöpfräder (= Noria) durch *Lucretius.*
25 v. Chr.	Beschreibung von Schöpfrädern und unterschlächtigen Wasserrädern durch *Vitruvius.*
um Chr. Geburt	Zwei horizontale Wasserräder (= Stockmühlen) bei Bolle in Jütland/Dänemark.
31 n. Chr.	*Tu Shih* erfindet wasserkraftgetriebenen Blasebalg in Nanyang, 590 km westlich Nanking/China.
65 n. Chr.	Beschreibung von Mühle mit oberschlächtigem Wasserrad durch *Plinius.*
vor 79 n. Chr.	Relief wasserkraftbetriebener Mühle in Pompei, 20 km südöstlich Neapel/Italien.
1. Jh. n. Chr.	Unterschlächtiges Wasserrad (Durchmesser 1,85 m) in Venafro bei Tivoli, 25 km nordöstlich Rom.
2. Jh. n. Chr.	Mosaik einer Noria in Apamoea, 55 km östlich Latakia/Syrien.
270 n. Chr.	*Chhu Thao* und *Wang Jung* erfinden in China wasserkraftgetriebene Getreidemühle.
3. Jh. n. Chr.	Unterschlächtiges Wasserrad (Durchmesser 3,7 m) in Haltwhistle, 64 km westlich Newcastle/England.
3. Jh. n. Chr.	Skizze eines oberschlächtigen Wasserrades in St.-Agnes-Katakomben in Rom.
3. Jh. n. Chr.	Drei vertikale Wasserräder (Durchmesser 2,12 bis 2,30 m) in Hagendorn bei Cham, 21 km südlich Zürich.
310 n. Chr.	Mühlenkomplex mit 16 oberschlächtigen Wasserrädern (Durchmesser 2,2 m) in Barbegal, 7 km westlich Arles/Frankreich.
460 n. Chr.	Oberschlächtiges Wasserrad (Durchmesser 3,24 m) in Athen.
5. Jh. n. Chr.	Mosaik eines unterschlächtigen Wasserrades im Grossen Palast von Istanbul.

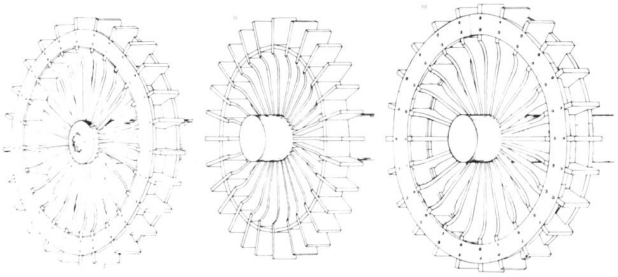


Bild 13. Rekonstruktionen der drei vertikalen Wasserräder von Hagendorn/ZG (nach *A. Gähwiler,* Schiers/GR).

Lauf der Lorze 85 angekohlte Bruchstücke aus Eichenholz ausgegraben, von denen 25 zu drei vertikalen Wasserrädern gehören. Die Räder wurden nicht nur auf dem Papier rekonstruiert, sondern im Massstab 1:3, teilweise gar 1:1 nachgebaut (Bild 13). Sie weisen Durchmesser von 2,15 bis 2,34 m auf und Schaufelbreiten von 22 bis 23 cm. Die 24 bis 28 Schaufeln eines Rades bestehen mit dessen schmäleren Speichen je aus einem Brett, das im Wellbaum verzapft ist. Die Felge wird durch Kranzbrettchen zwischen den Schaufeln bzw. Speichen gebildet und bei zwei Rädern durch aufgenagelte Wangenbretter an beiden Schaufelseiten verstärkt, so dass scheinbar Zellenräder vorliegen. Eines der Räder (Nummer II) ist ein reines Schaufelrad ohne Wangen. Beaufschlagt wurden alle Räder wahrscheinlich aus gegen ihre untere Hälften gerichteten, geneigten Schussrinnen, in der Art der Waschel (bzw. Fallrad) und wie bei horizontalen Wasserrädern üblich.

Auch nach dem Zusammenbruch der westlichen Hälfte des römischen Reiches in der 2. Hälfte des 5. Jahrhunderts setzte die Wasserkraftnutzung ihren «Dornröschenschlaf» fort bis über die Jahrtausendwende. Dann erfolgte ein offenbar recht jähes Erwachen und eine rasche Verbreitung im Zuge (oder als Grundlage?) der industriellen Revolution und Bevölkerungszunahme im 12. Jahrhundert. Gerade die topographischen und hydraulischen Gegebenheiten der Schweiz bildeten hierfür günstige Voraussetzungen. Doch damit haben wir uns bereits so weit von den Römern entfernt, wie der mittelalterliche Aufbruch der Gotik hinter uns liegt.

Literatur

[1] *J. Heierli:* Die bronzezeitliche Quellfassung von St. Moritz, «Anz. schweiz. Altertumskunde» 1907, p. 265–278 und *A. Zürcher:* Funde der Bronzezeit aus St. Moritz, «Helvetia archaeologica» 1972, Nr. 9, p. 21–28.

[2] *J. Rageth:* Eine bronzezeitliche Zisterne bei Savognin, «Helvetia archaeologica» 1985, Nr. 63/64, p. 81–90.

[3] *K. Grewe:* Planung und Trassierung römischer Wasserleitungen. Chmielorz GmbH, Wiesbaden 1985.

[4] *D. R. Blackman:* The Volume of Water Delivered by the Four Great Aqueducts of Rome, «Papers British School at Rome» 1987, p. 52–72.

[5] J. P. Aubert: Les aqueducs d'Aventicum, «Bull. Assoc. Pro Aventico», 1969, n° 20, p. 23–36.

[6] *R. Laur (-Belart):* Führer durch Augusta Raurica, Hist. und Antiq. Gesellschaft, Basel 1966 (p. 145–155).

[7] *R. Laur (-Belart):* Vindonissa. W. de Gruyter & Co., Berlin 1935 (p. 91–96).

[8] *E. Pélichet:* L'aqueduc romain de Nyon. «Ur-Schweiz» 1942, p. 68–71 et 1945, p. 76.

[9] *L. Blondel:* Chroniques des découvertes archéologiques dans le canton de Genève. «Genava» 1943, p. 41–44, 1946, p. 17–22 et 1961, p. 3–11.

[10] *F. Wiblé:* Forum Claudii Vallensium. «Antike Welt» 1983, Nr. 2, p. 2–32.

[11] *W. Drack:* Zur Wasserbeschaffung für römische Einzelsiedlungen gezeigt an schweizerischen Beispielen. «Provincialia» 1968, Festschrift R. Laur, p. 249–268.

[12] Journal d'Yverdon dans «24 Heures», 22. 2. 1977, p. 10.

[13] «Neue Zürcher Zeitung», 5. 2. 1981, p. 48.

[14] *A. Gerster:* Ein römisches Ziegellager bei Münchwilen/AG. «Helvetia archaeologica» 1976, Nr. 7, p. 112–115.

[15] *E. Von Fellenberg:* Der römische Wasserstollen bei Hagneck am Bielersee. «Anz. schweiz. Alterthumskunde» 1875, p. 615–619 und 631–634 und M. Bourquin: Der römische Wasserstollen bei Hagneck. «Bielerseebuch» 1973, p. 87–93.

[16] *F. Bonnet:* Les ports romains d'Aventicum. «Archäol. der Schweiz» 1982, p. 127–131.

[17] *H. Schwab:* Die Vergangenheit des Seelandes in neuem Licht. Universitätsverlag, Freiburg 1973 (p. 75–81).

[18] *C. Bonnet:* Genève aux premiers temps chrétiens. Fond. clefs Saint-Pierre, Genève 1986 (p. 53–55).

[19] *A. Gähwiler:* Römische Wasserräder aus Hagendorn/ZG. «Helvetia archaeologica» 1984, Festschrift J. Speck, p. 145–168 und «Industriearchäologie» 1987, Nr. 2, p. 1–11.

Adresse des Verfassers: *Niklaus Schnitter, dipl. Ing. ETHZ, Fleinerweg 4, 8044 Zürich.*

Schriftliche Fassung eines Vortrages, den der Verfasser im Rahmen der Kolloquien der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie an der ETHZ am 3. Mai 1988 gehalten hat.