

# Mittelalterliche Wasserkraftnutzung in der Schweiz

Autor(en): **Schnitter, Niklaus**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria**

Band (Jahr): **81 (1989)**

Heft 4-5

PDF erstellt am: **13.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-940473>

## **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.

# Mittelalterliche Wasserkraftnutzung in der Schweiz

Niklaus Schnitter

## Zusammenfassung

Ausgehend von einigen römischen Überresten, erfolgte auch in der Schweiz eine erste Verbreitung der wasserradgetriebenen Getreidemöhlen unter fränkischer Herrschaft (8. Jahrhundert). Eine kräftige Expansion folgte in Zusammenhang mit der «Industriellen Revolution des 12. Jahrhunderts». Nach Einführung der Nockenwelle war sie begleitet von einer starken Diversifikation in der Anwendung von Wasserrädern.

## Résumé: Utilisation médiévale de la houille blanche en Suisse

Partant de quelques restes romains une première propagation des moulins à blé activés par des roues hydrauliques eut lieu pendant l'empire franc également en Suisse (8<sup>e</sup> siècle). Une forte expansion suivit avec «La révolution industrielle du 12<sup>e</sup> siècle». Après l'introduction de la came elle fut accompagnée d'une importante diversification des utilisations de la roue hydraulique.

## Summary: Medieval water power utilization in Switzerland

Starting from some Roman remains a first spread of water wheel driven flour mills occurred also in Switzerland under Frankish rule (8th century). A great expansion followed in the wake of the "Industrial revolution of the 12th century". After introduction of the cam shaft it was accompanied by a strong diversification in the applications of the water wheel. Shortened English version to appear in «Trans. 7th Int. Symp. of Molinology», Sankelmark/FRG 1989.

## 1. Einleitung

Vor der Pest (1348–52), welche 25 Millionen Menschen oder fast einen Drittel der Bevölkerung dahinraffte (und die mit dem Ausbruch des Hundertjährigen Krieges zwischen England und Frankreich zusammenfiel), erlebte Westeuropa bei günstigen klimatischen Verhältnissen eine Bevölkerungsexplosion und seine erste industrielle Revolution. Eine wichtige Grundlage derselben war die in kurzer Zeit intensivierete Nutzung der Wasserkraft vom 11./12. Jahrhundert an. Deren Wurzeln reichen zwar recht weit ins Altertum zurück, doch liegen erste konkrete Zeugnisse – auch aus der Schweiz – für ihre praktische Anwendung erst vom 3./4. Jahrhundert vor [1]. Der Zusammenbruch der westlichen Hälfte des Römischen Reiches in der 2. Hälfte des 5. Jahrhunderts bewirkte, dass selbst diese zaghafte Initiativen im Sturm der Germanisierung und Christianisierung Europas weitgehend untergingen.

Die antiken Ansätze zur Nutzung der Wasserkraft kreisten alle um das Wasserrad, entweder mit horizontaler Achse (vitruvsches Rad) oder mit vertikaler Achse (Stock- oder Flodermühle). Es gibt aber noch ein anderes Nutzungsprinzip, das der Gnepfen- oder Anke, welche eine Umkehr des uralten Schwingeimers, des «Shaduf» der Ägypter, darstellt. Dabei befindet sich am einen Ende eines kippbar gelagerten Horizontalbalkens das Arbeitsgerät (z. B. Stampfe, Hammer, Säge usw.), während am anderen Ende ein Behälter mit Wasser gefüllt wird, wobei das Arbeitsgerät sich hebt. Unten angelangt, entleert und hebt sich der Behälter, wäh-

rend das Arbeitsgerät zuschlägt (Bild 1). Der grosse Vorteil der Einrichtung liegt darin, dass sie praktisch unabhängig vom Wasserdargebot ist. Ist dieses gering, arbeitet sie langsamer, aber sie arbeitet (im Gegensatz zu den dann meist stillstehenden Wasserrädern). Die Gnepfen- oder Anke war vor allem in China (evtl. schon im 1. Jahrhundert vor Chr.) [2] in Gebrauch, in Europa seltsamerweise hauptsächlich in der Schweiz, wo allerdings keine Reste davon zu finden sind, ausser Modellen im Historischen Museum in Bern und im Deutschen Museum zu München [3]. Die nachfolgenden Darlegungen befassen sich ausschliesslich mit dem Wasserrad, dem Ahnen unserer Turbinen.

## 2. Typologie des Wasserrades

Es mag an dieser Stelle erlaubt sein, kurz auf die Typologie des Wasserrades einzugehen, weil sie das Verständnis der darauffolgenden Ausführungen erleichtern kann. Vorweggenommen wurde bereits die Klassierung der Wasserräder nach der Radstellung bzw. derjenigen ihrer Achse (Bild 2). Wenn nicht speziell vermerkt, beziehen sich die Bezeichnungen «vertikal» und «horizontal» hier auf die Radstellung. Beim Vertikalrad unterscheidet man noch je nach Höhe der Anströmung zwischen unter-, mittel- und ober-schlächtigen Rädern. Während die erstgenannten direkt an einem Fliessgewässer oder auf einem Schiff errichtet werden können, erfordern mittel- und ober-schlächtige Räder eine Wasserzuleitung, meist einfache Erdgräben und/oder eine Holzrinne. Ist letztere stark geneigt, so spricht man von einer Schussrinne und einem Schuss- oder Fallrad (Wäsche). Die Neigung der Schussrinne kann bis 90° betragen, wie z. B. bei den kleinen Vertikalrädern, welche die Drehbänke für Steintöpfe aus Lavez antreiben [4], oder bei Wäscheln mit vorgelagertem Staukasten [3].

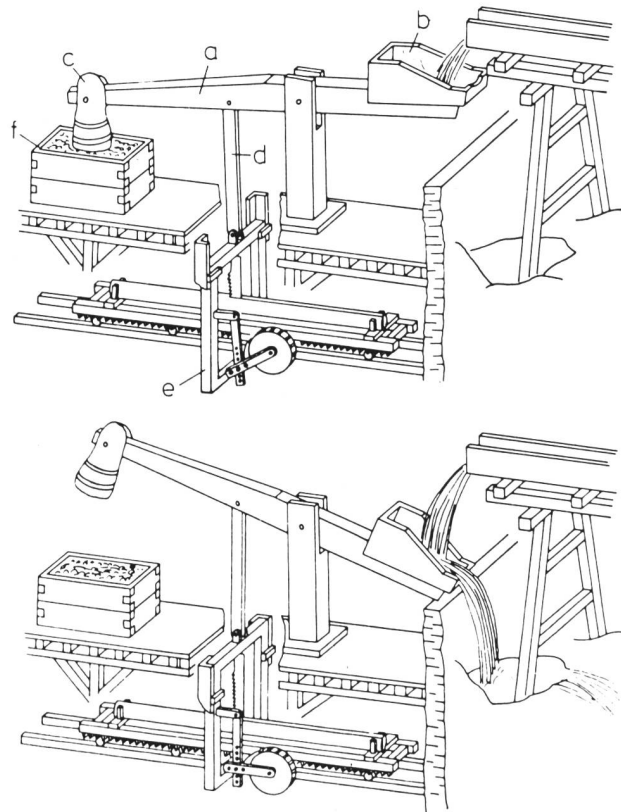


Bild 1. Gattersäge mit Gnepfenantrieb entsprechend den Schweizer Modellen: oben bei Füllung des Gefässes (b), unten bei dessen Entleerung und Hebung des Gegengewichts (c) sowie der Säge (d); bei Hammer und Stampfe bilden diese direkt das Gegengewicht (nach [3]).

Unterscheidung

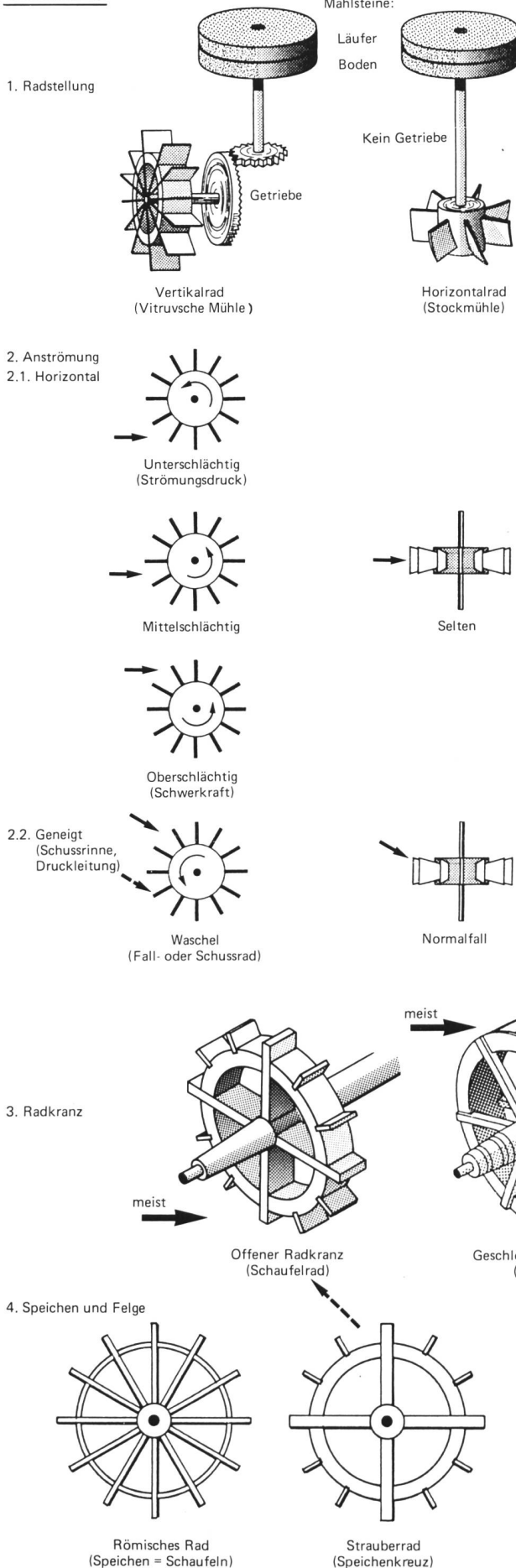


Bild 2. Typologie der Wasserräder.

Geneigte Schussrinnen sind die übliche Beaufschlagungsart von horizontalen Stockrädern. Werden sie mittels lotrechter Schächte beaufschlagt, so spricht man auch von «Arubah»-Mühlen (nahöstlicher Begriff, wo diese Konstruktion schon im 5. Jahrhundert auftauchte). Da das Wasser durch eine Düse am Schachtende auf das oft mit löffelartigen Schaufeln versehene Horizontalrad gelangte, gemahnt dieser Mühlentyp an eine moderne Anlage mit Pelton-turbine. Bei der Ausbildung der Schaufeln von Stockrädern entwickelte sich auch in der Schweiz eine grosse Vielfalt, obwohl ihre Anwendung praktisch auf die Bergkantone Graubünden, Tessin und Wallis beschränkt blieb (Bild 4). Für Vertikalräder zeigt Bild 2 eine Klassierung nach den wichtigsten Konstruktionsmerkmalen. So unterscheidet man offene und geschlossene Radkränze. Offene Schaufelräder sind vorwiegend unterschlächtig oder Schussräder, während Zellenräder meist von oben beaufschlagt werden. Eine weitere Unterscheidungsmöglichkeit bietet die Konstruktion von Speichen und Felge. Beim römischen Rad, wie z.B. den dreien, deren Reste bei Hagendorn im Kanton Zug, 21 km südlich von Zürich, gefunden wurden, bestehen Speichen und Schaufeln aus einem Brett und die Felge aus Kranzbrettchen zwischen diesen. Auch beim mittelalterlichen und in die Heraldik eingegangenen Strauberrad dienen die Enden der vier kräftigen Speichen gleichzeitig als Schaufeln. Die übrigen derselben sitzen auf den zwischen den Speichen eingelassenen Viertelbögen der Felge. Das ganze Rad besteht aus ineinandergesetzten und verkeilten Holzteilen und benötigt weder Nägel, Dübel noch Schrauben [5].

Da das Strauberrad nur schmale Schaufeln zulässt und somit wenig Leistung abgibt, greift man oft zum Staberrad mit selbsttragender Felge, die aus versetzt nebeneinander angeordneten Segmenten zusammengedübelt ist und in welche die Enden einer grösseren Anzahl von Speichen eingelassen und aufgeschraubt sind. Werden besonders breite Schaufeln benötigt, können diese von zwei oder mehr parallelen Felgen getragen werden. Manchmal werden auch die Speichen doppelt ausgeführt, je beidseits an der Welle vorbei.



Bild 3. Das aus dem 15. Jahrhundert stammende Gebäude der Gipsmühle Tiefenwaage bei Unterherendingen im Kanton Aargau mit rekonstruiertem Schaufelrad (Foto des Autors).

Die Leistungsfähigkeit der verschiedenen Vertikalradtypen kann aufgrund folgender Angaben abgeschätzt werden [6]:

	Unter- schlächting	Mittel- schlächting	Ober- schlächting
Fallhöhen (m)	0,4–3	2–5	2–12
Abfluss pro m Schaufelbreite (m <sup>3</sup> /s)	0,4–1,0	0,3–0,7	0,1–0,2
Wirkungsgrad (%)	30–40	60–75	65–80
Mittlere Leistung pro m Schaufelbreite (kW)	4	12	8

Da unterschlächtige Räder wegen ihrer geringeren statisch-dynamischen Beanspruchung breiter (z. B. 2 m) gebaut werden können als ober- und mittelschlächtige (z. B. 1 m), leisten beide Radtypen etwa gleich viel, d. h. im Mittel je etwa 8 kW. Deutlich besser stellen sich nach obigen Zahlen die mittelschlächtigen Räder dar. Entschieden geringer ist hingegen das Leistungsvermögen horizontaler Räder. Bei allen Radtypen beträgt aber die nutzbare Leistung am Arbeitsgerät, je nach dessen Art, einen Bruchteil der Radleistung, z. B. bei Sägen noch einen Drittel [3].

### 3. Frühe Getreidemöhlen

Alle eingangs erwähnten ersten Anwendungen des Wasserrades vor dem Zusammenbruch der westlichen Hälfte des Römischen Reiches dienten dem Antrieb von Getreidemöhlen. So blieb es noch über ein halbes Jahrtausend, wovon der grösste Teil auf das entfiel, was man auf englisch so treffend «die dunklen Zeiten» (the dark ages) nennt. Allerdings scheint die antike Mühlentechnik diese Zeit in Nord- und Mittelitalien sowie in Südfrankreich vereinzelt überlebt zu haben [2]. So erwähnt *Marius*, Bischof des waadtländischen Avenches, im Jahre 563 Mühlen in Genf (wahrscheinlich auf Schiffen).

Ausgehend von solchen «Überlebensinseln», fand dann im 8./9. Jahrhundert die Verbreitung der Getreidemöhlen im Reich der Franken statt, die ja die Ambition hatten, das Weströmische Reich wiederherzustellen (Bild 5). Sie scheinen auch einen ausgesprochenen Sinn für die Förderung der Technik und ihrer Innovationen gehabt zu haben [7]. So wurde erst jetzt die Kraft des Pferdes voll genutzt durch Einführung von Steigbügel (8. Jahrhundert), starrem Kummert (um 800) und beschlagenen Hufen (9. Jahrhundert). Ende des 8. Jahrhunderts wurde im Ackerbau die Fruchtfolge im dreijährigen Zyklus (Dreifelderwirtschaft) eingeführt, welche eine bedeutende Produktionssteigerung brachte.

Abgesehen von den vorgenannten Mühlen in Genf, stammen auch in der Schweiz die frühesten Erwähnungen von Mühlen aus der Frankenzeit [8 bis 19]. Sie sind in Tabelle 1 zusammengestellt, wobei zu berücksichtigen ist, dass die Intensität der Auswertung der schriftlichen Quellen (eine Mühlenarchäologie existiert noch kaum) sowie die Zufälle von deren Ausfertigung und Erhaltung eine grosse Rolle spielen. Die mittelalterlichen Dokumente nennen Mühlen ja auch meist in rechtlichen Zusammenhängen (Kauf-, Lehen-, Schenkungs-, Erbverträge usw.) und kaum in technischen. Ihre grosse wirtschaftliche Bedeutung erhellt die Tatsache, dass Bau und Betrieb monopolartige Vorrechte der Grundherren waren, welche diese allerdings verpachten konnten (auch erblich = sogenanntes Erblehen). Zudem ist das Jahr der ersten Erwähnung einer Mühle selten identisch mit dem Baujahr. So dürfte die 764 erstmals genannte Anlage in einem eindrucksvollen Felskessel des Weissenbachtals nördlich von Weisslingen im Kanton Zürich damals bis zu knapp hundert Jahre alt gewesen sein [16]. Heute steht daselbst noch die renovierte Scheune der Mühle aus dem 18. Jahrhundert, während diese mit ihren

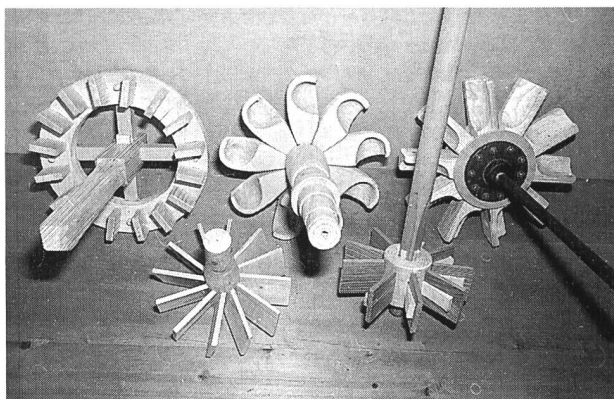


Bild 4. Von A. Gähwiler rekonstruierte Stockräder aus den Kantonen Graubünden und Wallis im Landwirtschaftsmuseum Burgrain in Kanton Luzern (Foto A. Gähwiler, Schiers/GR).

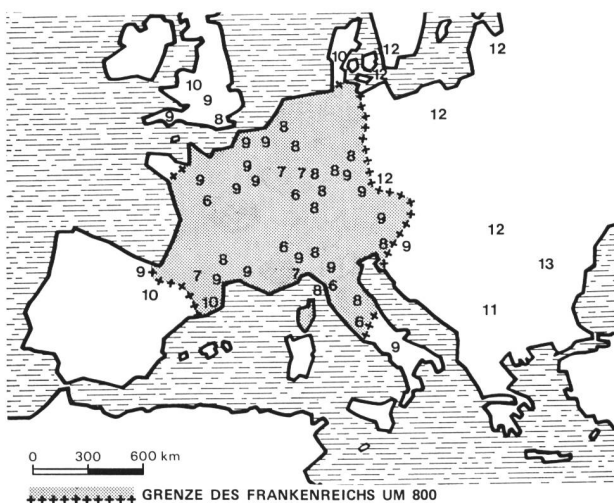


Bild 5. Ausbreitung des vertikalen Wasserrades in Europa vom 6. bis 13. Jahrhundert; die Zahlen geben das Jahrhundert der 1. Erwähnung in einer bestimmten Gegend an (nach [2]).



Bild 6. Renovierte Scheune aus dem 18. Jahrhundert der 764 erstmals genannten Mühle von Weisslingen im Kanton Zürich (Foto des Autors).

zwei Vertikalrädern von rund 4 m Durchmesser verschwunden ist (Bild 6). Auch an der Stelle der um 800 erstmals erwähnten Dütschenmühle nordwestlich von Dotnacht im Thurgau steht noch ein Wasserhaus ohne Wasserräder [17].

Die beiden nächstältesten Objekte in St. Gallen und Zürich (beide um 820, kurz nach dem Tode Kaiser *Karls des Grossen*) sind bemerkenswert, weil sie in Zusammenhang mit geistlichen Institutionen entstanden. Vor allem die Klöster

waren frühe Anwender der Wasserkraft, hatte doch schon *Benedikt von Nursia* (476–543), der Verfasser der ersten Ordensregel, in dieser verlangt, dass jedes Kloster auch über eine Mühle verfügen müsse, um möglichst unabhängig von der sündhaften Umwelt zu sein [2]. Er sagte noch nicht, ob es eine von Menschen oder Tieren betriebene Göpelmühle oder eine Wassermühle sein müsse. Letzteres lag aber nahe, sollten die Mönche möglichst unabhängig von Hilfskräften sein und selbst nicht zu viel Zeit mit rein mechanischer Arbeit verlieren. Zum typischen Bestandteil wurden Wasserräder in den Zisterzienser-Klöstern des 12. Jahrhunderts, womit wir bereits mitten in die Hochzeit der mittelalterlichen Wasserkraftnutzung vorgestossen sind.

## 4. Rasche Verbreitung der Mühlen

### 4.1 Übersicht

Bezeichnend für die beschleunigte Verbreitung der Getreidemühlen zu Beginn des zweiten Jahrtausends ist das Güterverzeichnis, das sogenannte «Domesday Book», das König *Wilhelm der Eroberer* (1066–87) nach seiner Inbesitznahme Englands 1080–86 erstellen liess [2, 7]. Darin sind 5624 Mühlen genannt für ein Gebiet mit etwa 1,4 Mio Einwohnern. Das bedeutet eine Mühle pro 250 Einwohner. In der damals drei- bis viermal weniger bevölkerungsrei-

chen Schweiz gab es verhältnismässig wohl noch weniger Mühlen, wie Tabelle 1 vermuten lässt. Diese beruht aber auch nicht auf einer so aussagekräftigen zeitgenössischen Erhebung, sondern, wie gesagt, auf der meist zufälligen Registrierung zufällig überlieferter Dokumente. Trotzdem belegt Tabelle 1 eine eindruckliche Vervielfachung der erstmals erwähnten Mühlen im 11. und 12. Jahrhundert, welche zeigt, dass auch die Schweiz, vielleicht mit der üblichen Verspätung, in den Sog der ersten industriellen Revolution Westeuropas geraten war. Deren Grundlage bildeten das milde Klima während Hoch- und Spätmittelalter, das etwa bis Mitte des 16. Jahrhunderts anhielt, sowie die relativ ruhigen politischen Verhältnisse. Beide bewirkten eine starke Bevölkerungszunahme bis zum eingangs erwähnten Ausbruch der Pest 1348.

Die Bevölkerungszunahme ihrerseits führte zu intensiven Waldrodungen vom 10. bis 15. Jahrhundert (Höhepunkt im 13. Jahrhundert), um immer mehr Kulturland zu gewinnen [20]. Parallel dazu ging der Auszug der Adligen aus den Dörfern in die in grosser Zahl und oft in neugerodeten Gebieten erstellten Burgen. Ebenso wurden zahlreiche neue Siedlungen gegründet, namentlich auch neue Städte, wie z.B. Aarau, Bern, Frauenfeld, Fribourg, Murten usw. Gleichzeitig begann der Fernhandel zu blühen, wie z.B. über den St.-Gotthard-Pass, eine wichtige wirtschaftliche

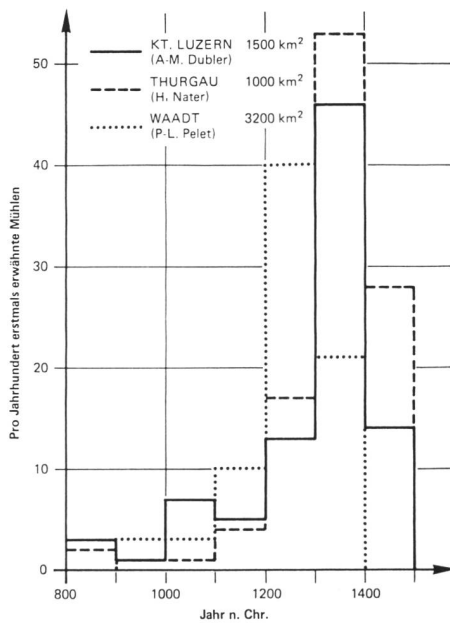


Bild 7. Erstmals erwähnte Mühlen von 800 bis 1500 in den Kantonen Luzern, Thurgau und Waadt.

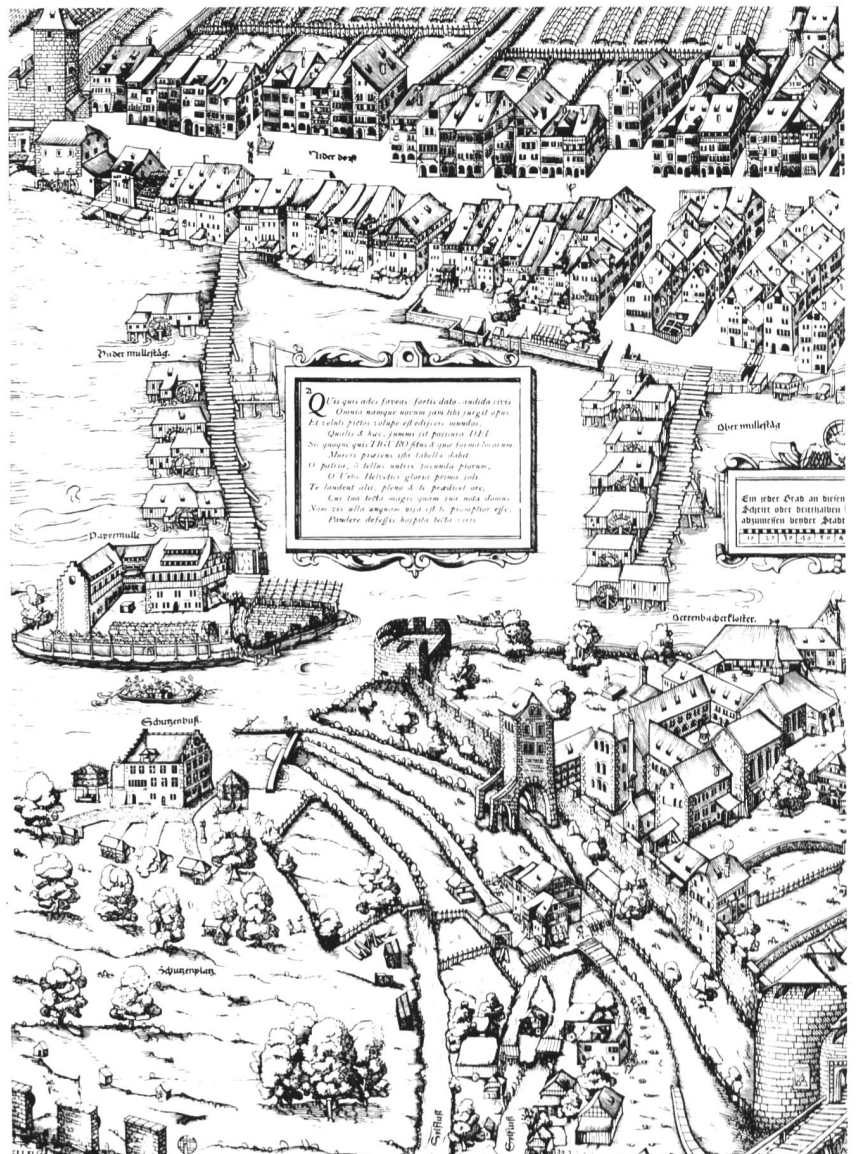


Bild 8. Ausschnitt aus dem Plan der Stadt Zürich von 1576 mit den je 6 Mühlen an den beiden Mühlesteigen (oben) und der Mündung des Sihlkanals (unten).

Grundlage für die Verselbständigung der Urkantone 1291. Unter diesen Umständen ist es einleuchtend, dass man zur Wasserkraft griff, um den rasch wachsenden Bedarf an Getreideprodukten zu befriedigen, sowohl in den alten Siedlungsgebieten wie in den neuen. Einigermassen repräsentative Angaben zur entsprechenden Zunahme der Mühlen liegen für drei Kantone vor (Bild 7). Sie zeigen alle ein auffallend ähnliches Bild, mit Maxima im 13./14. Jahrhundert und einem Abfall nach der Pest, als der Bedarf nach neuen Mühlen begreiflicherweise geringer war. Der «Vorsprung» der Waadt in dieser Entwicklung von rund 100 Jahren erklärt sich wohl aus ihrer grösseren Nähe zu Frankreich, nach wie vor Stammland der Mühlentechnik.

Bezüglich der Standorte mittelalterlicher Mühlen unterscheidet H. Kläui [16]:

- in Städten und Siedlungen, wie z. B. in Zürich mit je sechs an den beiden Mühlestegen über der Limmat und an der Mündung des Sihlkanals in diese (Bild 8), von denen vier an der Limmat erstmals um 1300 bezeugt sind [19];
- Mühle und Dorf bilden einen eigentlichen Mühleweiler;
- isolierte Mühlen ausserhalb von Siedlungen, wobei das Wort Mühle meist in der Ortsbezeichnung aufscheint, so wie die Burgmühlen, wie z. B. die Schlossmühle Hallwil im Aargau aus dem 14. Jahrhundert (Bild 9).

Bezüglich der Anordnung der Mühlen lässt sich vom 11./12. Jahrhundert an eine zunehmende Bevorzugung von Anlagen mit gesonderter Wasserzuleitung feststellen, in der Art der heutigen Umleitkraftwerke und weg vom eigentlichen Gewässer mit seinen meist beträchtlichen Gefahren bei Hochwasser oder Eisgang. Das führte oft zur Anwendung wassersparender oberflächlicher Wasserräder, bedingte aber den Bau von Ableitwehren im Gewässer selbst, eine Technik, die seit dem 10. Jahrhundert zunehmend besser beherrscht wurde [2, 7]. Konnte das Wehr zu einer Tal-sperre erweitert werden, so bestand gar die Möglichkeit zur Schaffung einer Stauhaltung zwecks Anpassung des Wasserdargebots an den Bedarf der Mühle. Oft wurden solche Mühleweiher auch entlang der Wasserzuleitung in einer Talmulde angelegt oder, wo eine solche fehlte, ausgegraben.

#### 4.2 Bedeutende Wasserbauten

Grössere separate Wasserzuleitungen belieferten als Gewerbekanäle mehrere Mühlen und wurden deshalb meist auf genossenschaftlicher Basis angelegt und betrieben.

Tabelle 1. Frühe Mühlen in der Schweiz.

1. Erwähnung		Ortschaft	Name der Mühle	Entfernung von Kantonshauptst. (km)	Quelle
Jh.	Jahr				
6.	563	Genf	–	–	Reynolds
8.	764	Weisslingen	(Otger)	18 NE Zürich	Kläui
9.	800	Dotnacht	Dütschen	19 E Frauenfeld	Nater
	820	St. Gallen	Kloster	–	Horn
	820	Zürich	Chorherrenstift	–	Wehrli
	875	Basadingen	–	16 NW Frauenfeld	Nater
	–	Horw	–	3 S Luzern	Dubler
10.	–	Obernau	Feld	4 SW Luzern	Dubler
	–	Malters	Loch	11 W Luzern	Dubler
	929	Denezey	–	25 NE Lausanne	Pelet
	934	Einsiedeln	Kloster (Alb)	12 N Schwyz	Kälin
	965	Langnau	Mehlsecken	33 NW Luzern	Dubler
11.	969	Mülibach	–	29 E Frauenfeld	Nater
	972	St. Prex	–	14 W Lausanne	Pelet
	1000	Vevey	–	17 SE Lausanne	Pelet
	1010	Yvonand	–	32 N Lausanne	Pelet
	1045	Sursee	Zum Hof	19 NW Luzern	Dubler
	1052	Unter-Illnau	–	15 E Zürich	Kläui
	1056	Schönenberg	Obere	22 E Frauenfeld	Nater
	1083	Basel	St. Jakob-Steg	3 SE	Gruner
	1087	Lutry	–	5 E Lausanne	Pelet
	–	Neuhausen	Lauffen	3 SW Schaffhausen	Niederh.
	–	Buttisholz	–	17 NW Luzern	Dubler
12.	–	Neudorf	–	15 NW Luzern	Dubler
	–	Ermensee	Untere	20 N Luzern	Dubler
	–	Schongau	Mettmen	24 N Luzern	Dubler
	–	Beromünster	Obere	19 NW Luzern	Dubler
	–	Beromünster	Untere	19 NW Luzern	Dubler
	1100	Vufflens-Ville	De la Palaz	10 NW Lausanne	Pelet
	1108	Agiez	–	24 NW Lausanne	Pelet
	~1110	Goumoens-Jux	Du Craux	16 N Lausanne	Pelet
	1120	Romainmôtier	–	23 NW Lausanne	Pelet
	1141	L'Abbaye	–	28 NW Lausanne	Pelet
	1141	Cuarrens	Mas de la Grange	19 NW Lausanne	Pelet
	~1150	Basel	St. Alban-Teich	E	Golder
	~1150	Warth	Kartheuse Ittingen	4 NW Frauenfeld	Nater
	~1150	Matzingen	–	5 SE Frauenfeld	Nater
	1159	Zürich	Stadelhof(en)	SE	NZZ
	1162	Molondin	–	27 N Lausanne	Pelet
	1170	Dézaley	–	11 SE Lausanne	Pelet
1177	Bürglen	–	19 E Frauenfeld	Nater	
1177	St. Croix	La Villette	35 N Lausanne	Pelet	
1180	Niederschongau	–	25 N Luzern	Dubler	
1180	Winterthur	Steig	20 NE Zürich	Kägi	
1186	St. Saphorin	–	13 SE Lausanne	Pelet	
1191	St. Blaise	–	8 NE Neuchâtel	Clottu	
1194	Pfaffnau	Kloster St. Urban	41 NW Luzern	Dubler	
1194	Grosswangen	Untere	22 NW Luzern	Dubler	
–	Basel	Rümelinbach	S	Gruner	
–	Ober-Illnau	Thal	14 E Zürich	Kläui	
–	Mammertshofen	Buo	38 E Frauenfeld	Nater	
–	Günikon	Herren	14 N Luzern	Dubler	
–	Oberkirch	Münigen	20 NW Luzern	Dubler	

Aus der Zusammenstellung in Tabelle 2 ist ersichtlich, dass in der Schweiz die ersten derartigen Anlagen in Basel oder seiner Nachbarschaft (Rheinfelden) entstanden [11, 12 und 21–24] (Bild 10). Schon der auf etwa 1150 datierte St.-Alban-Teich muss ein stattliches Unterfangen dargestellt haben, auch wenn er zu Beginn viel schmaler und einiges kürzer war als später. Die «Wuhre» zur Wasserentnahme aus der Birs, etwa beim heutigen St.-Jakob-Stadion, bildeten kein den Flusslauf sperrendes Wehr im heutigen Sinn [11]. Vielmehr handelte es sich um Leitwerke aus zwischen Holzpfählen horizontal eingeflochtenen Erlen- oder Weidenästen, mit denen das Wasser zum Kanaleinlauf ge-

Tabelle 2. Mittelalterliche Gewerbekanäle in der Schweiz.

Bauzeit	Ortschaft	Name des Kanals	Speisegewässer	Entfernung v. Kantonshauptst. (km)	Länge km	Quelle
Mitte 12 Jh.	Basel	St. Alban-Teich	Birs	E	~ 3 <sup>1)</sup>	Golder
12. Jh.	Basel	Rümelinbach (Steinenbach)	Birsig	S	2.5	Gruner
~1.200	Rheinfelden	–	Magdener Bach	23 NW Aarau	0.4	Enézian
Mitte 13. Jh.	Basel	Kleinbasler Teich (Riechedych)	Wiese	NE	4.5	Zschokke
1272 <sup>2)</sup>	Nyon	Bief de l'Asse	L'Asse (+ La Colline)	34 SW Lausanne	2.4 (+ 4.0)	Rochat
Anf. 14. Jh.	Olten	Mühlebach	Dünnern	32 NE Solothurn	0.4	Klöti
14. Jh.	Zürich	Sihlkanal	Sihl	W	1.6	Wehrli
14./15. Jh.	Aarburg	Mühletych	Wigger	13 SW Aarau	3.6	Klöti

1) 1625 auf 4.8 km verlängert

2) Erste Erwähnung, möglicherweise spätrömisch



Bild 9. 1974 rekonstruiertes Wasserrad der aus dem 14. Jahrhundert stammenden Schlossmühle Hallwil, 14 km südöstlich von Aarau (Foto des Autors).

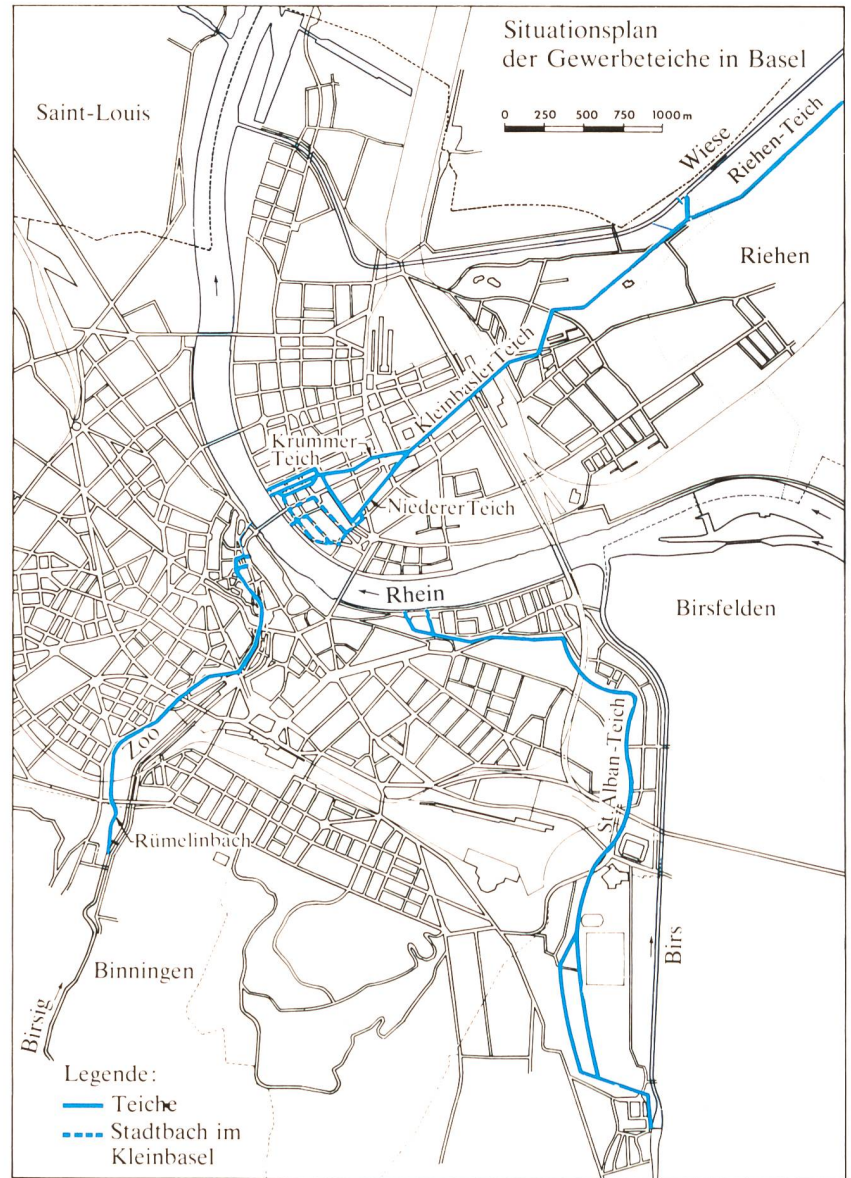
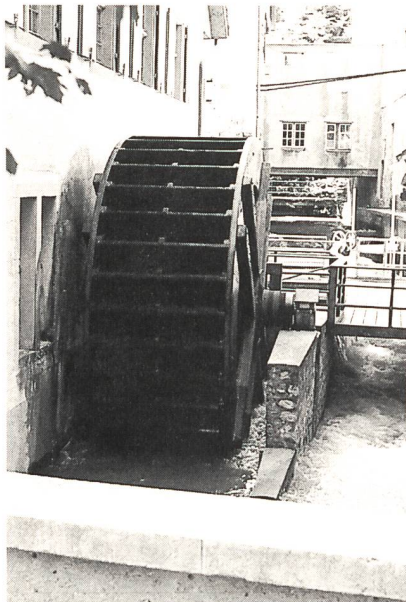


Bild 10. Plan der Stadt Basel mit ihren drei mittelalterlichen Gewerbekanälen (nach [12]).

Bild 11. Rekonstruiertes Wasserrad der 1452 zur Papiermühle umgebauten Klingentalschmiede (bis 1433: -mühle) am hinteren St.-Alban-Teich in Basel, heute sehenswertes Papiermuseum (Foto des Autors).

führt wurde. Da sie auf Hochwasser und Geschiebetrieb recht anfällig waren und der Fluss seinen Lauf oft änderte, mussten die «Wuhre» häufig instandgestellt oder gar neu gebaut werden.

Erst 1625 wurde etwa 2 km flussaufwärts bei Neuwelt ein erstes Stauwehr aus Steinkasten erstellt und der Kanal entsprechend verlängert. Inzwischen war dieser aber so erfolgreich geworden, dass schon 1284 die Kanalstrecke innerhalb der Stadtmauern einen Parallelast erhielt, um mehr Mühlen bedienen zu können. Jahrhundertlang standen dann an jedem Ast drei sich gegenüberliegende Mühlenpaare, also total 12 Werke, die später meist über je 2 bis 3 Wasserräder verfügten. Diese waren alle unterschlächtig, und ihre mögliche Nettoleistung wird auf insgesamt 820 kW geschätzt [12] (Bild 11). Neben der Energiegewinnung wurde der St.-Alban-Teich zum Flößen von Holz in die Stadt benutzt, was endlose Streitigkeiten bewirkte. In dritter Linie diente er auch der Wässerung (Düngung) von Wiesen vor den Stadttoren.

Während der Rümelinbach mit nur etwa 20 kW möglicher Nettoleistung bei weitem der kleinste der Basler Gewerbekanäle war, erschloss der nördlich des Rheins angelegte Kleinbasler Teich ein Potential von rund 290 kW [12]. Er verästelte sich innerhalb der Stadtmauern zu einem wahren Labyrinth von Kanälen, das Werk des um 1270 tätigen Brotmeisters *Heinrich* aus Ravensburg (nördlich des Bodensees) [24]. Damit konnten bis über 60 Wasserräder angetrieben werden (Mitte 19. Jahrhundert). *Heinrich von Ravensburg* ist einer der frühesten, namentlich bekannten Initianten grösserer Wasserbauten in der Schweiz. In unmittelbarer Nähe seiner Heimatstadt war schon im 11. Jahrhundert das komplexe Kanal- und Weihersystem der Langenlachen bzw. des Stillen Baches entstanden [25]. Näher bei Basel befanden sich am Südabhang des Schwarzwaldes zwischen Laufenburg und Säkingen 1207 erstmals genannte Gewerbekanäle, welche in Zusammenhang mit der Verarbeitung des Eisenerzes aus dem aargauischen Fricktal angelegt worden waren [26].

Gegen Ende des gleichen Jahrhunderts wird im waadtländischen Nyon ein Gewerbekanal erstmals erwähnt, dessen Ursprünge bis in die spätromische Zeit zurückreichen sollen [23]. Im Gegensatz zu den schwach geneigten Basler Teichen folgt der «Bief de l'Asse» einem mit rund 30% Gefälle zum Genfersee hinabstürzenden Bach (Bild 12). Deshalb wurden viele der Wasserräder überschlächting beaufschlagt. 1672 zählte man 17 Werke an dem 2,4 km langen Gewerbekanal. Um ein genügendes Wasserdargebot sicherzustellen, wurde eine Überleitung von 4,0 km Länge vom nächstnördlichen Bach La Colline erstellt, die kurz vor der Fassung des Gewerbekanal in die Asse mündet.

Die ältesten mittelalterlichen Stauwerke bestanden aus zwei parallelen Flechtwerken, wie vorstehend für die «Wuhre» vor dem St.-Alban-Gewerbekanal beschrieben, zwischen die Steine und Erde eingebracht wurden. Bald entstanden aber auch geschüttete Staudämme im heutigen Sinn, die allerdings durchwegs aus genügend dichter Erde bestanden oder wasserseitig durch einen Lehmschlag oder mit Rasenziegeln abgedichtet wurden. Die heute vorherrschende Konstruktion mit einem inneren Dichtungskern entwickelte sich erst nach 1715 im Harz/BRD, in der Slowakei/CSSR und in England [27]. Der Wassereintritt diente meist ein Deuchel (Holzrohr) durch den Dammkörper, der natürlich Durchsickerungen und Auswachsungen in diesem Vorschub leisten konnte, vor allem wenn er von Fäulnis befallen war. Dem Wassereintritt in den wasserseits verschlossenen Deuchel diente ein Loch an seiner Oberseite, in das ein Zapfen passte mit einer Stange bis über die Weheroberfläche. Hier befand sich entweder ein Steg oder ein zuweilen gar fernbedienbares Hebegestänge (Bild 13).

In der Schweiz sind die ältesten Weiheranlagen bezeugt für die 1159 erstmals erwähnte Stadelhof(en)mühle in Zürich (Tabelle 1), die auf spätestens 1301 datierbare Obere Mühle in Küsnacht, 8 km südöstlich der Stadt, und 13 km nordwestlich davon in Buchs für 1345 [28]. Letztere besteht heute noch wie der zu einem unbekanntem Zeitpunkt angelegte Weiher der 1124 gegründeten Zisterzienserabtei Lucelle im Jura, 30 km südwestlich von Basel. Von 1424 datiert der ebenfalls noch bestehende Biessenhofer Weiher, 27 km östlich von Frauenfeld im Thurgau, welcher von den Brüdern Ulrich und Burkhart von Helmsdorf, Schlossherren im nahegelegenen Eppishausen, gebaut wurde [17]. Der 142000 m<sup>3</sup> Wasser stauende Damm ist heute rund 4 m hoch und 150 m lang. Ebenfalls im Thurgau befinden sich rund 20 km nordöstlich von Frauenfeld der vor 1431 entstandene, nicht viel kleinere Grossweiher bei Geissberg [17] sowie die 1460 vom Grossen Spital in Konstanz angelegten und vor wenigen Jahren instandgesetzten und unter Schutz gestellten Bommer Weiher [28]. Deren grösster, oberster Damm ist heute 5 m hoch und rund 100 m lang.

### 5. Diversifikation der Wasserkraftnutzung

Fast gleichzeitig mit der vorherbeschriebenen Expansion der Getreidemühlen erfolgte die Diversifikation des Wasserrades in eine Vielzahl von andersartigen Verwendungszwecken [2]. Die Grundlage dafür bildete die Entwicklung der mit Nocken besetzten Horizontalwelle im 10. Jahrhundert [7]. Diese Nocken drücken intermittierend auf entsprechende Vorrichtungen an vertikalen Stempeln, die damit abwechselnd gehoben und fallen gelassen (Stampfe, Bild 14, und Klopfsäge) bzw. niedergedrückt und durch einen Federbaum wieder gehoben werden (Säge des Villard de Honnecourt um 1245) [3]. Damit kann die Drehbewegung des Wasserrades in eine vertikale Auf-/Ab-Bewegung umgewandelt werden. Das gleiche lässt sich erreichen, wenn die Nocken der Welle das dem Arbeitsgerät entgegengesetzte

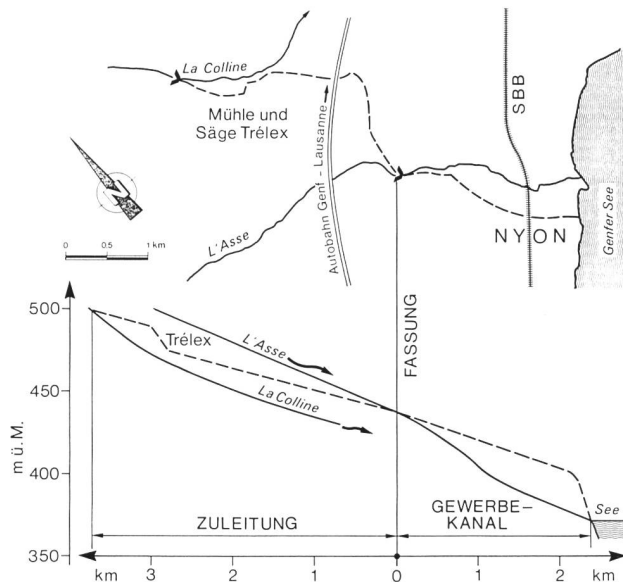


Bild 12. Plan und zwanzigfach überhöhtes Längenprofil des Gewerbekanal «Bief de l'Asse» bei Nyon am Genfersee.

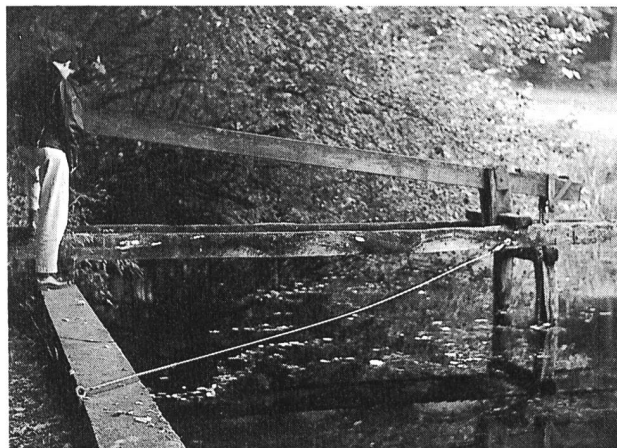


Bild 13. Hebegestänge zum Öffnen und Schliessen des Auslasses am um 1430 entstandenen Gwandweiher bei Hauptwil, 29 km südöstlich von Frauenfeld im Thurgau (Foto des Autors).



Bild 14. Erzstampfe mit vertikalen Stempeln, die durch Nocken an der Welle eines überschlächtingen Wasserrades gehoben und wieder fallen gelassen werden (aus G. Agricola: De re metallica libri XII. Basel 1556).



Tabelle 3. Mittelalterliche Anwendungen der Wasserkraft.

Anwendung (chronologisch)	Arbeitsbewegung				Erste Anwendung		
	Drehung			Längs	Europa	Schweiz	Quelle (Schweiz)
	Horiz- ontal	Verti- kal	Hor./Vert. (Koller- gang)	Nocken- od. Kur- belwelle			
Schöpf- rad Getreidemühle Drehbank	X	X X			} 25 vor Chr. Beschrei- bung d. Vitruvius Römisch (Stein- u. Metallgefäße)	– 3. Jh. Hagendorn/ZG	– } Gäh- wiler
Stampfe Bier-(d.h. Malz)mühle	X			X		820 Kloster St. Gallen	– Horn
Hanf-(od. Flachs)reibe			X oder	X	990 Dauphiné/F	1210 Grenolier/VD	Pelet
Walke (Gewebebearbeitung) Schmiede(hammer)				X X	1008 Mailand/I 1010 Oberpfalz/BRD	1250 Steinach/SG 1372 Moudon/VD	Oesch Pelet
Öle { Zermalmen (Pressen)			X oder	X (X) (X) X X	} 1101 Provence/F	1689 Buch/SH	Brütsch
Gerber- mühle { Rindezerkl. Lederwalke		X			} 1138 Ile de France	–	–
Zucker(rohr)mühle			X			1176 Sizilien/I	–
Schleife { Metall/Glas Gestein	X	X			} 1195 Beauvais/F	1366 Basel (St. Alban)	Golder
Säge { Sägeblatt Vor/Rückschub		X		X			
Blasbalg (Schmiede/Hütte)				X	1214 Trient/I	–	–
Papier-(d.h. Lumpen)mühle				X	1276 Fabriano/I	1440 Kleinbasel	Gruner
Schöpfemerwerk		X			1315 Mähren/CSSR	–	–
Kalk-(od. Gips)mühle		X			1321 Augsburg/BRD	15. Jh. Unterehrend./AG	Bachmann
Kolbenpumpe				X	1340 Ulm/BRD	–	–
Farb-(stoff)mühle				X	1348 Pas de Calais/F	–	–
Drahtzieherei		X			~ 1410 Nürnberg/BRD	–	–
Deuchel-(Röhren)bohrer		X				1480 Süddeutschland	–
Anteile	12 %	36 %	8 %	44 %			

Ende eines kippbar gelagerten Horizontalbalkens, wie bei Gneffe oder Anke, nach unten (oder oben) drücken und dann wieder freigeben (Hammer, Bild 15). Die heute für die Umsetzung einer Dreh- in eine alternierende Längsbewegung (oder umgekehrt) meist übliche Kurbel(welle) kam erst gegen Ende des Mittelalters um 1430 in Gebrauch [7]. Sowohl Nocken- wie Kurbelwelle waren im Altertum nur in Spielzeugen bekannt!

Ein Rätsel in Zusammenhang mit der vorgenannten Datierung der Entwicklung der Nockenwelle ins 10. Jahrhundert gibt der Plan des Klosters St. Gallen von etwa 820 auf [13]. Denn neben der wohl wasserangetriebenen Mühle mit Bäckerei zeigt er vor der Brauerei «pila» (Mörser) genannte Geräte, deren Signatur ein Hammerwerk zum Zermalmen des Malzes darstellen könnte. Das hätte aber eine Nockenwelle bedingt, die somit rund ein Jahrhundert älter wäre. Andererseits waren damals oder kurz danach für die Bierherstellung gewöhnlich ähnliche Mühlen in Gebrauch wie zum Mahlen von Getreide [2].

Die St. Galler Datierung wurde in Tabelle 3 übernommen, die eine chronologische Übersicht über die gängigsten der vielfältigen Anwendungen der Wasserkraft während des Mittelalters gibt [2, 7]. Neben der beeindruckenden Anzahl von rund zwei Dutzend Neuanwendungen belegt die Zusammenstellung die Bedeutung der Nockenwelle für deren Entwicklung. Fast die Hälfte der Anwendungen macht von ihr Gebrauch. Interessant ist auch, dass nochmals gut ein Drittel der Anwendungen die Drehbewegung in einer Vertikalebene benötigte, was dem ohnehin wirksameren Vertikalrad weiteren Auftrieb gab.

Dafür kann das seltenere Horizontalrad, wie bei Getreide- und Biermühlen, getriebefrei an die weitere wichtige mechanische Neuerung angeschlossen werden, die sich hin-

ter dem Begriff «Reibe» verbirgt und erstmals um 990 in Südostfrankreich nachweisbar ist (6. Zeile in Tabelle 3). Es ist dies der Kollergang, bei dem ein oder zwei aufrechte Mahlsteine um die vertikale Antriebswelle, mit der sie durch ihre (horizontale) Achse verbunden sind, im Kreis herum rollen und eine zermalmende und quetschende Wirkung ausüben. Die Vorrichtung dient in einer «Öle» zur Vorbereitung des Pressgutes, während zum Pressen selbst eine handbetriebene Spindel oder seltener ein Schlagwerk in der Art der Stampfe (Keilpresse) benutzt wird.

Zweierlei Bewegungen werden auch in einer Säge benötigt: die Drehbewegung über Seilwinden, Zahnstangen usw. für den Vorschub des Schlittens (Wagens), auf dem das Sägegut ruht, sowie für sein Rückholen nach Abschluss des Sägevorganges und für diesen selbst die alternierende Längsbewegung [3]. In nachmittelalterlicher Zeit wurde letztere auch in der Getreidemühle eingeführt zum Rütteln des Stoffbeutels, mit dem das Mehl ausgesiebt wird [2].

In Tabelle 3 sind in der zweitletzten Kolonne die eruierten Daten und Orte angegeben für die Einführung der verschiedenen Anwendungsarten der Wasserkraft in der Schweiz [1, 9, 11, 12, 13, 24, 29, 30 und 31]. Die mittlere «Verspätung» auf die europäischen Erstanwendungen beträgt rund 200 Jahre, wobei wiederum der vorstehend erwähnte «Vorsprung» der Frankreich nahegelegenen Gegenden (Basel und Waadt) auffällt.

Ein schönes Beispiel der Diversifikation der Wasserkraftnutzung im Spätmittelalter stellt der St.-Alban-Gewerbekanal in Basel dar. Wie Tabelle 4 zeigt, herrschten bis Mitte des 14. Jahrhunderts die Getreidemühlen vor. Doch in den nächsten 120 Jahren erfolgte eine beachtliche Verschiebung zugunsten der 1440 erstmals in (Klein-)Basel eingeführten Papiermühlen. Bemerkenswert ist auch, dass in den

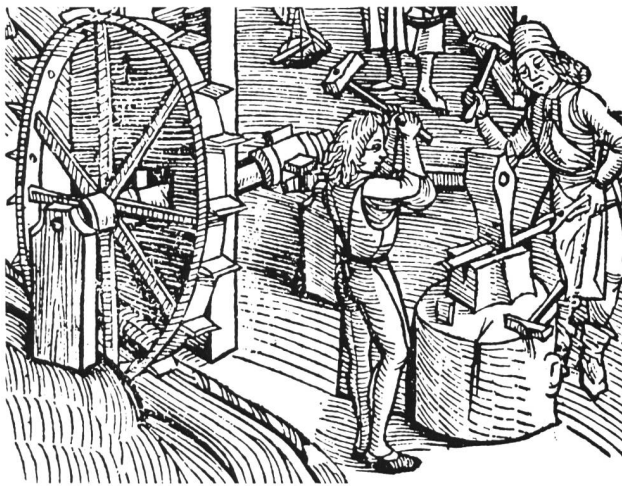


Bild 15. Unterschlächtiges Wasserrad mit Nocken an seiner Welle (Mitte), welche den kippar gelagerten Schmiedehammer (rechts) abwechselnd hochdrücken und fallen lassen (aus *H. von Reutlingen: Flores musicae*. Strassbourg/F 1488).

Tabelle 4. Diversifikation der Wasserkraftnutzung am St.-Alban-Gewerbekanal in Basel.

Stichjahr	Anzahl Werke (Wasserräder)				Total
	Getreidemühlen	Schleifen	Papiermühlen	Gewürz- bzw. Tabakmühlen	
1366	10	2	0	0	12
1486	5	2	4	1	12
1823	5 (15)	0	5 (16)	2 (2)	12 (33)

Nach Golder

daraufliegenden rund 340 Jahren keine weiteren nennenswerten Umlagerungen mehr stattfanden. Solche traten erst wieder im 19. Jahrhundert beim Übergang vom Wasserrad zur Turbine auf, welcher am St.-Alban-Teich erstmals 1854 in der Vorderen Schleife oder Orismühle vollzogen wurde [11]. Weitere Beispiele von Zwecksänderungen sind:

- Die schon 1278 erwähnte Tiefenwaagemühle in Unterehrendingen, 26 km nordöstlich von Aarau, die im 15. Jahrhundert erneuert und in eine Gipsmühle umgebaut wurde [29]. Das schlichte Gebäude erhielt vor ein paar Jahren ein neues Schaufelrad (Bild 3).
- Die Säge in Buch, 11 km östlich von Schaffhausen, die 1469 erstmals als Mühle erscheint, 220 Jahre später eine Öle und Reibe beigestellt erhielt sowie weitere 100 Jahre später noch eine Säge [30]. Während alle Zusatzwerke im 19. Jahrhundert wieder stillgelegt wurden, blieb die Mühle bis 1933 in Betrieb. 1976 wurde die Säge renoviert sowie drei Jahre später auch die Reibe, und beide können heute wieder mit einem Wasserrad betrieben werden.

## 6. Epilog

Die eben skizzierten «Mühlenschicksale» belegen, dass, wenn auch die vorliegende Arbeit mit dem Ende des Mittelalters im 15. Jahrhundert aufhört, die Bedeutung des Wasserrades als Energiequelle in den nachfolgenden Jahrhunderten keineswegs zurückging. Im Gegenteil, sie nahm bis zur Einführung der Turbine Mitte des 19. Jahrhunderts vor allem in der Schweiz weiterhin zu, wo die Dampfkraft – der Motor der zweiten industriellen Revolution des 18./19. Jahrhunderts – der hohen Brennstofftransportkosten wegen bis zur Einführung der Eisenbahn (ebenfalls Mitte 19. Jahrhunderts) unbedeutend blieb. Gleichzeitig erfolgten auch zahlreiche Verbesserungen und Verfeinerun-

gen, namentlich durch die zunehmende Verwendung von Eisen und Stahl in Getrieben, Wellen usw. sowie bei den Wasserrädern selbst.

Doch ist festzuhalten, dass die mittelalterlichen Grundprinzipien, wie namentlich auch die wasserbauliche Auslegung, selbst nach dem Übergang zur Turbine gültig blieben. Diese, wie auch so grundlegende Mechanismen wie Nocken- und Kurbelwelle, verdanken wir eindeutig dem Hoch- und Spätmittelalter.

## Literatur

- [1] *N. Schnitter*: Römischer Wasserbau in der Schweiz. «wasser, energie, luft» 1988, Heft 7/8, S. 151–156 und «Helvetia archaeologica» 1988, Nr. 73, S. 2–18.
- [2] *T. S. Reynolds*: Stronger Than a Hundred Men, a History of the Vertical Water Wheel. J. Hopkins Univ. Press, Baltimore/MD 1983.
- [3] *H. Jüttemann*: Alte Bauernsägen im Schwarzwald und in den Alpenländern; und: Schwarzwaldmühlen. Beide G. Braun, Karlsruhe 1984 und 1985.
- [4] *A. Gähwiler*: Lavezbearbeitung. «Industriearchäologie» 1980, Nr. 2, S. 2–9.
- [5] *A. Gähwiler*: Unsere hölzernen Wasserräder. «Industriearchäologie» 1981, Nr. 4, S. 1–10; und: Vorindustrielle hölzerne Wasserräder. Die Geschichte der Gewässerkorrekturen und der Wasserkraftnutzung in der Schweiz. Pro Aqua, Basel 1983, S. 3.1–3.14.
- [6] *E. Mosonyi*: Wasserkraftwerke. Ungarische Akademie der Wissenschaften, Budapest 1959, Band II, S. 829–848.
- [7] *J. Gimpel*: La révolution industrielle du Moyen Age. Du Seuil, Paris 1975 (deutsch: Artemis, Zürich 1980).
- [8] *O. Clottu*: Les anciens moulins de Saint-Blaise et autres engins. Comm. du 3 février, St-Blaise 1979.
- [9] *P. Delacretaz*: Les vieux moulins du Pays de Vaud et d'ailleurs. Delplast, Romanel/VD 1985 (mit Liste alter waadtl. Mühlen von P.-L. Pellet).
- [10] *A.-M. Dubler*: Müller und Mühlen im alten Staat Luzern. Rex, Luzern 1978.
- [11] *E. Golder*: 100 Jahre Birswhur Neue Welt. Tiefbauamt, Basel 1984; und: St.-Alban-Teich. Korp. Nutzung St.-Alban-Teich, Basel 1986.
- [12] *G. Gruner*: Die Basler Gewerbekanaäle und ihre Geschichte. «Basler Stadtbuch» 1978, S. 23–42.
- [13] *W. Horn*: Water Power and the Plan of St. Gall. «Journal Medieval History» 1975, S. 219–257.
- [14] *H. Kägi*: Die Mühlen von Altwinterthur. «Winterthurer Jahrbuch» 1954, S. 31–51.
- [15] *W. Kälin*: Einsiedler Mühlen. Grotzenmühlen, Einsiedeln/SZ 1986.
- [16] *H. Kläui*: Die alten Mühlen als Gegenstand der Ortsgeschichte. «Zürcher Chronik» 1963, Nr. 1, S. 4–13.
- [17] *H. Nater*: Die alten Mühlen im Thurgau. W. Sonderegger, Weinfelden/TG 1970.
- [18] *P. Niederhauser*: Schaffhausen–Moserdamm, Rheinfällewerke, Pumpspeicher. Die Geschichte der Gewässerkorrekturen und der Wasserkraftnutzung in der Schweiz. Pro Aqua, Basel 1983, S. 14.8–14.9.
- [19] *H. Wehrli*: Die Wehrli-Mühle in Zürich. Berichthaus, Zürich 1977.
- [20] *W. Meyer*: Hirsebrei und Hellebarde. Walter, Olten 1985.
- [21] *G. Enézian*: Die Weiher von Rheinfelden. «Rheinfelder Neujahrsblätter» 1986, S. 15–58.
- [22] *T. Klöti*: Wasser als gewerbe- und industriestandortbildender Faktor im Raume Olten. «Industriearchäologie» 1983, Nr. 1, S. 1–9.
- [23] *G. Rochat*: Le bief de l'Asse. Soc. usiniers bief de l'Asse, Nyon 1984.
- [24] *P. Zschokke*: Vom Riechedych und em alte Glaibasel. Verl. National (heute: Basler) Zeitung, Basel 1976.
- [25] *L. D. Herbst*: Die Langenlachen von Altdorf-Weingarten. «Wolfegger Blätter» Nr. 3, Stuttgart 1987, S. 28–38.
- [26] *G. Albiez*: Die Wuhren im Schwarzwald. «Anschnitt» 1979, S. 215–225.
- [27] *N. J. Schnitter*: The Evolution of Embankment Dams. Water Power & Dam Construction Handbook, Sutton/Surrey 1988, S. 27–35.
- [28] *N. Schnitter*: Geschichte des Talsperrenbaus in der Schweiz. «wasser, energie, luft» 1985, S. 185–192; und: Talsperren der Schweiz, die Werke bis Ende des 19. Jahrhunderts. «Schweizer Ing. u. Arch.» 1987, S. 1328–1333.
- [29] *C. Bachmann*: Wassermühlen in der Schweiz, Birkhäuser, Basel 1987.
- [30] *H. Brütsch, A. Gähwiler und H. Tanner*: Führer durch das Freilichtmuseum Säge, Buch/SH, 1981.
- [31] *O. Oesch*: Die Wasserkraft an der Steinach. St. Gallen 1928.

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

Vortrag vom 27. September 1988 vor dem Linth-Limmat-Verband in Zürich.