

Zeitschrift: Ferrum : Nachrichten aus der Eisenbibliothek, Stiftung der Georg Fischer AG
Herausgeber: Eisenbibliothek
Band: 86 (2014)

Artikel: Gleichzeitigkeit des Ungleich(zeitig)en : Wissensformen der (Klein)wasserkraft im 19. und frühen 20. Jahrhundert
Autor: Zumbrägel, Christian
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-391850>

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: 12.01.2026

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

Christian Zumbrägel

Gleichzeitigkeit des Ungleich(zeitig)en

Wissensformen der (Klein)wasserkraft im 19. und frühen 20. Jahrhundert

Über viele Jahrhunderte prägte die energetische Nutzung der Fließgewässer durch Wassermühlen mit Wasserradantrieb den Charakter unserer Kulturlandschaft. Schon in der Antike bekannt, avancierte die Wasserkraft in Spätmittelalter und Früher Neuzeit zum vorherrschenden Energiespender diverser gewerblicher Verarbeitungsprozesse. Die industriellen Transformationsprozesse im 19. Jahrhundert beförderten schliesslich gewaltige Veränderungen in der Entwicklung und Nutzung von Wasserkraftmaschinen. Im Laufe des Jahrhunderts traten neue Protagonisten an die Stelle des praktischen Mühlenbauers sowie des Mühlrades. Turbineningenieure dominierten fortan die Debatte um die innovativen Errungenschaften auf Grundlage wasserkräftetechnischer Forschung. Auf der Suche nach der Gleichzeitigkeit des Ungleich(zeitig)en werde ich der These nachspüren, dass traditionelle Wissensformen der Kleinwasserkraft – das praktische, intuitive und an örtliche Gegebenheiten gebundene Wissen der vorindustriellen «Mühlenbaukunst» – auch zum Übergang ins 20. Jahrhundert von Relevanz blieben und sich auf neuartige Weise mit jüngeren Wissensformen – z. B. dem versuchsbasierten Methodenrepertoire der Technikwissenschaften – vermengten.

Harnessing the energy of watercourses by means of water-driven mills shaped our cultural landscape for many centuries. Hydropower was already used in antiquity and became the predominant source of energy in diverse fabrication processes in the late Middle Ages and the early modern age. The industrial transformation processes of the 19th century eventually brought about tremendous changes in the development and use of hydroelectric machinery. In the course of the century, new protagonists took the place of the hands-on millwright and of the water wheel. From this time on, turbine engineers dominated the debate surrounding the innovative achievements based on water power engineering research. In search of the simultaneity of the non-simultaneous, I will explore the thesis that the traditional forms of knowledge embodied in small hydropower plants – the practical, intuitive and localized knowledge of pre-industrial “mill architecture” – continued to be relevant at the turn of the 20th century and blended in novel ways with newer forms of knowledge – e.g. the experimental methodology of engineering science.

Historiographische Zugänge

Technik- und Wirtschaftsgeschichte tendierten lange Zeit dazu, die erfolgreiche Verwertung technischer Entwicklungen, die grossen Innovationsprozesse, zum Gegenstand der Forschung zu erheben. In den meis-

ten technikhistorischen Darstellungen folgte die Entwicklung der hydraulischen Antriebsmaschinen einem eindimensionalen Pfad aus der Vergangenheit in die Gegenwart. Holzschnittartig verkürzt dargestellt, wurden «veraltete» Antriebsformen, wie beispielsweise

Wertgröße PS	Wasserrad		Turbine	
	zahl der Anlagen	Ausbauleistung PS	zahl der Anlagen	Ausbauleistung PS
1 bis 10	6 222	27 195	1 717	9 134
11 " 20	877	13 120	818	12 528
21 " 50	393	12 475	795	26 645
51 " 100	62	4 501	297	21 300
101 " 499	17	2 367	262	55 570

Auszug aus der Statistik Bayerns vom Jahre 1927.

(Quelle: Anton Staus: Wasserradversuche. In: Die Mühle 65, 1928, Sp. 1417–1419, hier Sp. 1417)

die Kleinmühlen mit Wasserradantrieb, von den neuen Errungenschaften der modernen Maschinenwissenschaften, der Dampf- oder Wasserturbine-technik, überholt und abgelöst. In der Rhetorik dieses technikhistorischen Narratifs standen die genialen Erfinder und Ingenieure als Konstrukteure der «Wunderwerke der Technik» lange Zeit ausschliesslich im Blickfeld des Forschungsinteresses.¹

Übertragen auf die Wissensgeschichte der Wasserkraft, verlief der Prozess der Wissensgenerierung nahezu linear und hierarchisch von informellen zu formellen Wissensformen der Technik. Diesem Geschichtsbild folgend basierte die Konstruktion von Wasserrädern zu Anfang des 19. Jahrhunderts weitgehend auf dem individuellen Erfahrungswissen einzelner Mühlenbau-meister, Mühlenärzte oder Mühlenkonstrukteure, die konstruktiv-technische Neuerungen im Wasserradbau in Abhängigkeit von den jeweils vorherrschenden örtlichen Gegebenheiten und in handwerklicher Tradition erprobten und entwickelten. Messtechnische und quantifizierbare Methoden zur Optimierung des Wirkungsgrades fehlten dem praktischen Wasserradkonstrukteur.² Bereits zum Ausgang des 19. Jahrhunderts präsentierte sich die wasserkrafttechnische Entwicklung als ingenieurwissenschaftliche Disziplin in einem gänzlich anderen Gewand als noch ein knappes Jahrhundert zuvor: Das 19. Jahrhundert hatte den stillen Abgang des Wasserrades von der Bühne der dominierenden Antriebstechniken gezeichnet. An die Stelle des Mechanikwissens und der «cut-and-try»-Methoden des praktischen Mühlenbauers traten zum Übergang ins neue Jahrhundert systematische Untersuchungen an Wasserkraftmaschinen auf Grundlage objektivierbarer und verallgemeinerbarer, demnach wissenschaftlicher Methoden und Theorien.³ Der Aufstieg der Technikwissenschaften mündete in die Beförderung einer neuen Wissenskultur, eine neue technokratische Ingenieurselite, die fortan Entwicklung und Produktion der hydraulischen Antriebsmaschinen dominierte: «Die technisch-industrielle Praxis hatte vielfach den traditionellen handwerklichen Bereich verlassen.»⁴ Hat dieses nahezu ungebrochene optimistische Fortschrittsdenken wesentlich zum Verständnis des Aufstiegs und der Herausbildung der modernen Technikwissenschaften

beigetragen, so liefert dieses Geschichtsbild dennoch eine einseitige Beschreibung des historischen Wandels.

Unter dem Deckmantel dieses Hohenliedes auf die Wunderwerke der Ingenieurwissenschaft bleibt dem Betrachter nicht nur verborgen, dass schon im 18. Jahrhundert wissenschaftliche Zugänge und systematische Untersuchungen in enger Wechselwirkung zu den praktischen Bedürfnissen die Entwicklung der Wasserrad-technik mitgetragen haben.⁵ Über die Tätigkeiten der praktischen Mühlenbauer und die Entwicklung alther-gebrachter Wasserkrafttechniken erfahren wir mit ge-steigertem Interesse an dem innovativen Turbinenbau kaum noch etwas. Es wird der Eindruck erweckt, dass die traditionellen Wissensformen der Wasserkraft mit der Herausbildung der modernen Technikwissenschaf-ten in der Versenkung verschwanden. Demgegenüber verdichten sich die Hinweise darauf, dass die traditio-nelle wassergetriebene Energienutzung in Kleinmühlen auch zu Beginn des 20. Jahrhunderts noch immer eine wichtige Achse regionaler Energieversorgung bildete. Wenn auch die Wasserräder in ihrer Ausbauleistung deutlich hinter den Turbinen rangierten, so überrascht doch die quantitative Verteilung der im Betrieb stehenden Wasserräder in der ersten Hälfte des 20. Jahrhun-derts.

Eine Analyse der Wissensformen der Kleinwasserkraft kann den Blick für die Prozesse schärfen, die sich hinter den Kulissen dieses ingenieurwissenschaftlichen Fort-schritts- und Innovationsparadigmas abspielten, und die technologischen Konstanten und die Weiterentwick-lung althergebrachter Wissensformen aufdecken. Es ist davon auszugehen, dass der schleichende Übergang vom Handwerk zum Ingenieurswesen einige Seitenwe-ge und Umwege abseits des Pfades des technischen Fortschritts einschlug. Neben den versuchsbasierten wissenschaftlichen Herangehensweisen in der Turbi-nentechnik blieb das praktische, intuitive und an örtli-che Gegebenheiten gebundene Wissen der vorindustri-ellen «Mühlenbaukunst» in der Kleinwasserkraft noch lange Zeit gültig. Im Folgenden werde ich der Gleichzei-tigkeit vermeintlich ungleich(zeitig)er Wissensformen der Kleinwasserkraft im deutschen Sprachraum im 19. und frühen 20. Jahrhundert nachspüren.

Das Wasserrad neu erfinden

Maschinenwissenschaftler hatten es sich zu Anfang des 19. Jahrhunderts zur Aufgabe gemacht, zwar nicht das Rad, aber das Wasserrad neu zu erfinden. Die Entwick-lungen in der Turbinentechnik mündeten in den 1880er-Jahren in eine enge Verquickung mit den Neuerungen in der Elektrotechnik. Der Anschluss an die Elektro-technik, die neuen Möglichkeiten der Fernübertragung des elektrischen Stroms, hatten die Wasserkraft – in der Metapher der Zeitgenossen gesprochen – von ihrer

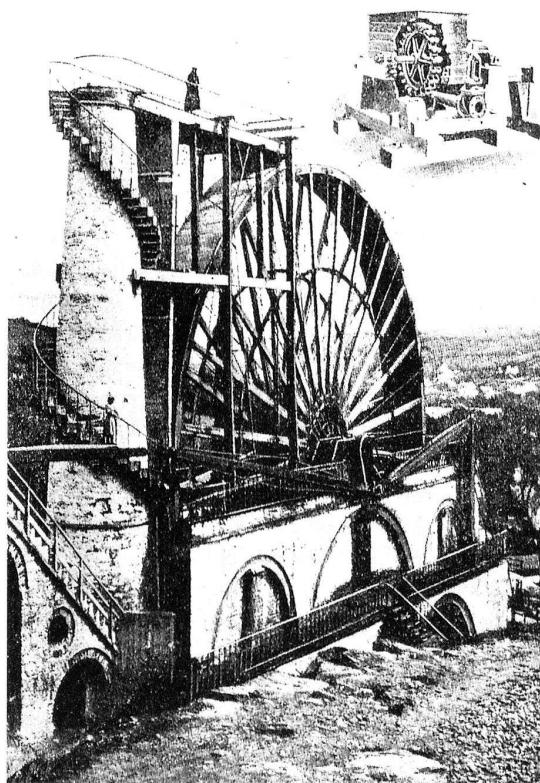
vorindustriellen «Gebundenheit an die Scholle»⁶ gelöst. Die Befreiung aus ihrer isolierten Verwendung führte – den Worten des Hochschulprofessors Theodor Rehbock folgend – zu einer «wahren Jagd» auf die noch verbliebenen grossen Wasserkraftpotenziale.⁷ In den ersten Jahrzehnten des 20. Jahrhunderts sprossen vielerorts hydroelektrische Prestigegrossbauten aus der Landschaft, wie beispielsweise das Laufwasserkraftwerk Laufenburg am Hochrhein oder das Walchenseekraftwerk in Oberbayern.

Die Elektrifizierung der Wasserkraft bestimmte das Interesse der Zeitgenossen an den Technikentwicklungen. Innerhalb der Ingenieurwissenschaft formierte sich eine Gruppe von – in den Worten David Blackbourns – sogenannten «Wasserkraft-Enthusiasten», die in der grosstechnischen, turbinengetriebenen Hydroelektrizität die Zukunft der Energiewirtschaft und das Allheilmittel sämtlicher Ressourcen- und Rauchprobleme erkannten.⁸ Dieses Dreigespann, bestehend aus Elektrotechnikern, Maschineningenieuren und im Wasserbau spezialisierten Bauingenieuren, den sogenannten «Hydrotekten», hatte das wasserkrafttechnische Versuchswesen, dessen Anfänge bis ins 18. Jahrhundert zurückreichen, als «Sondergebiet»⁹ der modernen Maschinenwissenschaften etabliert und institutionalisiert.

Ein überlebter Anachronismus?

Im Wortklang desselben Fortschritts- und Innovationsdiskurses bemühte sich die Gruppe der Enthusiasten, die moderne Hydroelektrizität von dem ihr anhängenden «Stallgeruch» des Handwerks» zu befreien.¹⁰ Die Abgrenzung zur erfahrungsbasierten und intuitiven «Mühlenbaukunst» vergangener Tage fand auch auf diskursiver Ebene ihren Niederschlag: Der Kunst-Begriff verschwand im 19. Jahrhundert zunehmend aus dem Fachjargon der Ingenieure. Ihrer Meinung nach hing den wissenschaftlichen Unternehmungen der wasserkrafttechnischen Forschung nichts Künstlerisch-Intuitives mehr an.¹¹ Einen symbolischen Bruch mit der alten Mühlen- und Wasserradtradition versuchte der Ingenieur Ludwig Fischer-Reinau, vorerst wenig erfolgreich, über die Einführung neuer wissenschaftlicher Messeinheiten zu erreichen. So könnte die Ausbaufähigkeit der modernen «Weissen Kohle» nicht länger danach bemessen werden, «was ein Pferd kostet».¹²

Die Ingenieure rühmten die Leistungen der vorindustriellen Mühlenbauer und Mühlenärzte als etwas «Altehrwürdiges»; gleichzeitig beklagten sie die «unfruchtbare Raubwirtschaft» an den Naturkräften durch die dezentrale Produktionsweise in «unzweckmässigen» Kleinmühlen mit ihren «veralteten» und «unvollkommenen» Wasserrädern.¹³ Der Turbiningenieur Ludwig Quantz vertrat schon in der Erstaufgabe seines Handbuchs der Wasserkraftmaschinen (1907) die Meinung, dass die



Größenvergleich zwischen einer Pelonturbine und einem Wasserrad mit derselben Leistung. Der Autor des zugehörigen Fachartikels, Hochschulprofessor und Turbiningenieur Rudolf Camerer aus München, setzt die konstruktiv-technischen Grenzen der Wasserradtechnik ins Bild. Leistungssteigerungen seien nur noch unter entsprechend unrealistischem Material- und Platzbedarf erreichbar.
(Quelle: N.N.: Die Bedeutung der Wasserkräfte für die chemische Industrie. Vortrag, gehalten auf der 23. Hauptversammlung des Vereins deutscher Chemiker in München am 19. Mai 1910 von Prof. Dr. phil. Dr.-Ing. R. Camerer, München. In: Dinglers Polytechnisches Journal 325 (1910), S. 548–552, hier S. 551)

Wasserräder den «Forderungen der Neuzeit» nicht mehr entsprechen würden.¹⁴ Ab der 7. Auflage dieses Lehrbuchs (1929) verzichtete er schliesslich vollständig auf die Beschreibung der Wasserradtechnik, der er in den vorherigen Auflagen noch ein eigenes Kapitel gewidmet hatte.¹⁵ Eine gewichtige Allianz aus fortschrittsgläubigen Ingenieuren und Industriellen war sich weitgehend einig: Für die «überholte» Technik Wasserrad sowie das traditionelle Handwerkswissen der Mühlenbaukunst war im Zeitalter der modernen Maschinenwissenschaft und hydroelektrischen Kraftnutzung kein Platz mehr. Sie repräsentierten nicht viel mehr als überlebte Anachronismen, deren endgültiger Niedergang unmittelbar bevorstand.

Um in den Worten John Staudenmaiers zu sprechen, waren diese Männer die Erzähler der Technikentwicklung.¹⁶ Der von ihnen geführte zeitgenössische Diskurs

prägte nicht nur das zeitgenössische Publikationswesen, sondern auch wesentlich – wie eingangs ausgeführt – die Narrative der Technikgeschichtsschreibung respektive der Wissenschaftsgeschichte der Wasserkraft im 20. Jahrhundert.

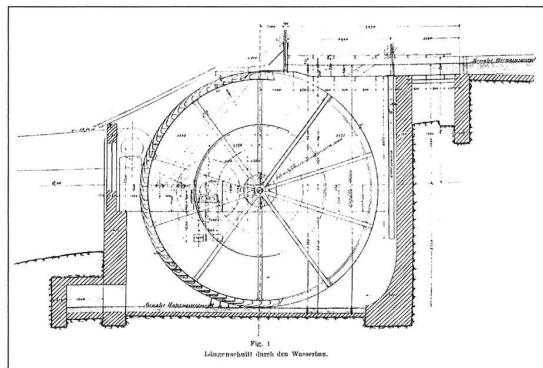
Wirkungsgrade, Wirkungsgrade, Wirkungsgrade

Aus dieser Gruppe der «Wasserkraft-Enthusiasten» ging, in dem Terminus des Historikers Edwin Laytons, eine «new scientific era» hervor, eine Gruppe von Wissenschaftlern in weissen Kitteln, die insbesondere in dem messtechnischen Methodenrepertoire der versuchsbasierten Technikwissenschaften nach Lösungsansätzen für konstruktiv-technische Probleme der Wasserkrafttechnik suchte.¹⁷ Durch diese Wissenschaftler erhielt die Institutionalisierung des wissenschaftlichen Versuchswesens immensen Auftrieb: Nachdem die Turbinenbaufirma Briegleb, Hansen & Co. in Gotha im Jahre 1880 den Grundstein für die erste ständige Turbinen-Versuchsanstalt im Deutschen Reich gelegt hatte, institutionalisierte sich die wasserkrafttechnische Forschung um die Jahrhundertwende auch an den noch jungen Technischen Hochschulen.¹⁸ Die Wasserbaulaboratorien und Turbinen-Versuchsanstalten, die neuen «Orte der Moderne»,¹⁹ stiegen schnell zum Dreh- und Angelpunkt wasserkrafttechnischer Forschungen auf.

Den Anforderungen der sich ausweitenden grossindustriellen Produktionsweise sowie der aufstrebenden Elektroindustrie nach grösseren Ausbauleistungen versuchten Wissenschaft und Industrie in erster Linie mit einer unnachgiebigen Erhöhung der Wirkungsgrade von Wasserkraftmaschinen gerecht zu werden.²⁰ Während die fortschrittsgläubigen Wissenschaftler Leistungszuwächse in der Wasserradtechnik nur noch über einen unverhältnismässigen Aufwand an Material und Platz zu realisieren glaubten, vermuteten sie in der Turbinenentwicklung noch mobilisierbare Potenziale.²¹ Industrie und Forschung rückten den Turbinenbau in den Fokus des experimentellen Versuchswesens. In der Folge veranstalteten Turbinenfirmen und Versuchsanstalten einen regelrechten Wettlauf um die Steigerung der Umdrehungszahlen bei verschiedenen Turbinentypen.²²

«Technology as Practice»

Dem Primat der Leistungssteigerung im Versuchswesen begegneten aus den verschiedenen Wissenskulturen kritische Töne: nicht nur aus der Reihe der Mühlenbauer, die eine handwerkliche Ausbildung durchliefen, sondern ebenso aus der Reihe der Ingenieure selbst, mit Hochschulausbildung. Dem Ingenieur Graf folgend zeuge nichts mehr vom «Dilettantismus im Wasserturbinenbau» als die «masslose Schärfe» im Fordern von Wirkungsgraden.²³



Längsschnitt einer Konstruktionszeichnung eines vollständig aus Eisenblech gefertigten oberschlächtigen Zellenrades (1900), das bevorzugt an Flusstauen mit höherem Gefälle (4–5 m), «massigen» Wassermengen, starker Verunreinigung und Grundeisbildung eingesetzt wurde. Das Wasser fliesst von einem Gerinne in die wasserdichten Zellen des Rades, die Gewichtskraft des Aufschlagwassers setzt das Wasserrad in Bewegung.

(Quelle: Wilhelm Müller: Oberschlächtiges eisernes Zellenwasserrad mit 10 m Durchmesser. In: Dinglers Polytechnisches Journal 315, 1900, S. 557–600, hier S. 557 [Ausschnitt])

Die in den Versuchsanstalten generierten Erkenntnisse würden bei der Wasserkraft, insbesondere der Kleinwasserkraft, im Vergleich zu anderen Ingenieursfeldern (z.B. Wärmekrafttechnik) in ungleich höherem Masse von den örtlichen Begebenheiten abhängen und damit nicht selbstredend die individuellen Probleme und Fragen der vielen Eigentümer kleiner Wasserkräfte adressieren.²⁴ Was nutzte einem Triebwerksbesitzer der theoretisch hohe Wirkungsgrad einer Turbine, wenn diese zu Zeiten niedriger Pegelstände phasenweise stillstand oder wenn ein hoher Geschiebe- und Laubeintrag in den Bachlauf regelmässige Reparaturen an den empfindlichen Maschinen erforderten. Für Abnehmer in zivilisationsfernen Gebieten war es wichtig, dass Reinigungen und Reparaturen ohne Expertenhilfe und mit einfachen Mitteln durchgeführt werden konnten.

In Anlehnung an das Konzept des Technikhistorikers Mikael Hård, «technology as practice», entschieden oftmals andere Kriterien, mit einem nicht unwesentlichen lokalen und praktischen Bezug, über die Aneignung einer Wasserkraftmaschine durch die Kleinwasserkraftnutzer, als allein die kognitiven und universellen Erkenntnisse der versuchsbasierten Wissenschaft.²⁵ Wenn auch das Wasserrad der Turbine unter Laborbedingungen in Bezug auf das Leistungskriterium schon lange nicht mehr «das Wasser reichen» konnte, so blieben konstruktiv-technische Neuerungen in der Wasserradtechnik, z.B. das Zuppinger-Rad oder das oberschlächtige Zellenrad, unter bestimmten örtlichen Verhältnissen weit in das 20. Jahrhundert hinein konkurrenzfähig.²⁶

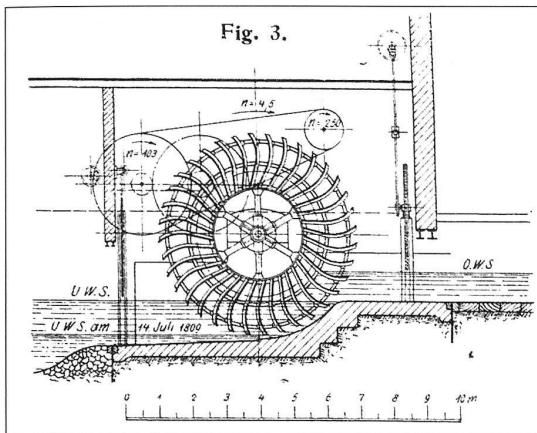


Fig. 3.
Längsschnitt eines unterschlächtigen Zuppinger-Rades (auch Zuppinger Niedergefällerad o. Zuppinger Übergefällerad) mit Kropfge-
rinne, das an Flussläufen mit kleinen bis mittleren Gefällen (1,5–3 m)
und starken Wasserstandsschwankungen zur Anwendung kam. Die
meisten Zuppinger-Räder besaßen einen schmiedeeisernen, breiten
Radkorpus und hölzerne Radschaufeln, die nach innen schräg und
nach aussen nahezu radial gestellt waren. Die anfälligen Schaufeln
fungierten als eine Art Sollbruchstellen: Bei Beschädigung versagte
nur das Einzelement, der Betrieb des Gesamtsystems wurde nicht
beeinträchtigt. Einzelne Schaufeln konnten vergleichsweise einfach
und kostengünstig ausgetauscht werden.

(Quelle: Carl Reindl: Richtlinien für die Bewertung von Wassernutzungen und Wassernutzungsanlagen. München 1936, S. 32)

Auf starke Wasserstandsschwankungen sowie hohe Geschiebe- und Laufführung reagierten Wasserräder bei geringem Gefälle flexibler und unanfälliger als vergleichbare Turbinentypen, die stärker auf einen kontinuierlichen Wasserdurchfluss angewiesen waren. Einige Nutzer schätzten die durchschaubare Anwendungstechnik des Wasserrades; die Funktionsweise der Technik war nachvollziehbar – kein vernachlässigbarer Aspekt bei Wartungs- und Reparaturarbeiten, die in Eigenregie betrieben wurden.²⁷ Mancher Besitzer erteilte dem Wasserrad auf Grundlage schlichter Kosten-Nutzen-Kalkulation den Vorzug. So war man eher bereit, kleinere Leistungseinbussen in Kauf zu nehmen, als horrende Beträge für wasserbauliche Umbaumassnahmen aufzubringen, die bei der Umrüstung auf die Turbinentechnik in der Regel stärker ins Gewicht fielen.²⁸ Es gab nach wie vor praktische und lokal determinierte Faktoren, die die technische Arbeit mit Wasserkraftmaschinen bestimmten und die auch im Zeitalter der Turbinentechnik das Wasserrad in Vorschlag bringen konnten.

Die Maschinenwissenschaftler hatten sich mit ihren am Leistungskriterium orientierenden wasserkrafttechnischen Versuchsreihen in ihren abgeschotteten Laboratorien immer weiter von den individuellen Bedürfnissen der kleinen Abnehmer entfernt.²⁹ Während der

Erhöhung der Umdrehungszahlen von Turbinenanlagen unter idealisierten Laborbedingungen kaum Grenzen gesetzt waren, richteten sich die kostenaufwendigen wasserbaulichen Arbeiten an einer Kraftanlage weitgehend nach den «alten bewährten Grundsätzen der Wasserbaukunst».³⁰ Hier halfen Laborerfahrungen und von der Industrie stark beworbene standardisierte und normierte Produktionsweisen und Einbaumethoden nur selten.³¹ Für eine effiziente Nutzung galt es die Gegebenheiten vor Ort einer genauen Prüfung zu unterziehen.³²

Die mangelnde Praxisnähe der «technischen Schulen» sei der Grund, weshalb die Nutzer kleiner Wasserkräfte in den Institutionen der Wissenschaftsgesellschaft nur selten nach Lösungen für ihre alltäglichen Fragen und Probleme suchen würden. Eher hielten sie sich an eine «Reihe von Werkstätten» – welche sich auf Grundlage von aus der Praxis stammenden «Erfahrungsresultaten» mit der Konstruktion von Wasserrädern beschäftigten.³³ Lokale Experten mit ihrem individuellen auf den jeweiligen Naturraum abgestimmten Erfahrungswissen blieben für die Einpassung von Wasserkraftanlagen auch im 20. Jahrhundert unerlässlich.

«Renaissance» der wasserRADtechnischen Forschung

Zum Übergang ins neue Jahrhundert ebbte das Interesse an der Wasserradtechnik in Forschung und Lehre merklich ab. Hatte der von der Turbinentechnik ausgehende Konkurrenzdruck die konstruktiv-technische Entfaltung des Wasserrades im 19. Jahrhundert wesentlich befördert, z.B. Wechsel des Konstruktionsmaterials von Holz zu Eisen oder Entwicklung des Poncetelrades, so geriet das Wasserrad gegen Ende des Jahrhunderts zunehmend aus dem Blickfeld der wasserwissenschaftlichen Forschung.³⁴ Dies änderte sich nach dem 1. Weltkrieg. Unter Praktikern wie Theoretikern mehrten sich ab den 1920er-Jahren Stimmen, die im Turbinenbau und in der Strömungsmechanik gewonnenen Erkenntnisse für konstruktiv-technische Optimierungen der Wasserradtechnik nutzbar zu machen. Eine zunehmende Zahl an Wasserradkonstrukteuren teilte die Ansicht, dass auch der Wasserradbau gewisser theoretischer Kenntnisse und versuchsbasierter Herangehensweisen bedürfe.³⁵

In diesen Jahren erlebte das Wasserrad als Gegenstand der Forschung eine partielle Renaissance, die man vor dem Hintergrund einer generellen Aufwertung der Kleinwasserkräfte im Anschluss an die Kohleknappheit nach dem 1. Weltkrieg verstanden wissen muss. Konstrukteure aus Forschung und Handwerk führten auf Grundlage des im Turbinenbau gewonnenen Methodenrepertoires in den Wasserbaulaboratorien Untersuchungen an vornehmlich oberschlächtigen Wasserrädern durch. Die Versuche zielten insbesondere auf

den reibungsfreien Wasserdurchfluss durch die Wasserkraftanlage ab.³⁶ Begegneten die meisten Ingenieure diesen Versuchen anfangs mit «einem überlegenen Lächeln» – wie es der Professor Anton Staus der Esslinger Ingenieursschule bemerkte –, so konnten auf Grundlage systematischer Untersuchungen im Laufe des Jahrzehnts, zumindest unter Laborbedingungen, Erfolge verbucht werden.³⁷

Zu einem Zeitpunkt, als die Turbinentechnik als längst etabliert galt, vermengte sich das traditionelle Wissen um das Wasserrad in neuartiger Weise mit dem wasserkräftischen Versuchswesen. Nicht nur die Wasserradkonstrukteure knüpften an die Erfahrungen der Turbinenforschung an, nun erkannte auch so mancher Turbinenkonstrukteur Vorteile der Wasserradtechnik. Der ungarische Turbinenkonstrukteur Donat Bánki nahm am Ende der 1910er-Jahre die flexiblere Anpassung des Wasserrades an schwankende Wasserszuflüsse zum Ausgangspunkt für die Entwicklung eines neuartigen Turbinentyps, der als Ossberger-Turbine bis heute in Kleinwasserkraftanlagen Verwendung findet.³⁸

Medien der Wissensvermittlung – Fachzeitschriften

Fachzeitschriften waren und sind heute noch, in den Worten Philipp Sarasins, wichtige «Speicher-, Transport- und Darstellungsmedien».³⁹ Im ersten Jahrzehnt des 20. Jahrhunderts – zeitgleich mit der Errichtung einer Reihe hydroelektrischer Grossbauprojekte – überrollte eine beeindruckende Zahl an neu veröffentlichten Sonderzeitschriften zu den Themen Wasserbau und Wasserkraft die Fachwelt.⁴⁰ Auf die Erstausgabe der Zeitschrift «Die Turbine» im Jahre 1904 folgten die «Zeitschrift für das gesamte Turbinenwesen» ab 1905, das «Zentralblatt für Wasserbau und Wasserwirtschaft» ab 1906, in demselben Jahr die erste Auflage der «Zeitschrift für die gesamte Wasserwirtschaft» und schliesslich zwei Jahre später die einschlägigste Fachzeitschrift auf dem Gebiet, «Die Weisse Kohle», 1908.

Diese Fachzeitschriften adressierten eine ausschliesslich ingenieurwissenschaftlich geschulte Leserschaft und kamen dem Bedürfnis vieler Ingenieure nach, ihr Wissen über Entwicklungen, Konstruktions- und Arbeitsmethoden innerhalb eines abgeschotteten Fachkreises zirkulieren zu lassen. Die Zeitschriften präsentierte eine selektive Auswahl der in den Laboratorien gewonnenen Erkenntnisse oder klammerten diese explizit aus. Damit griffen sie als Vermittlungsmedien nicht nur in den Prozess der Diffusion, sondern ebenso in den Prozess der Konstitution des Wissens ein. Das Wissen war durch eine eigene Wissenschaftssprache – durch Tabellen, Formeln, Zeichensysteme oder Messgrössen – kodiert und für ein Publikum ohne spezifisch ingenieurwissenschaftliches Backgroundwissen nur schwer zu transkribieren und damit kaum zugänglich.

Inmitten dieses Dickichts an Fachzeitschriften lassen sich auch Zeitschriften aufspüren, die sich dem praxisorientierten Interesse der Nutzer kleiner Wasserkräfte, der Mühlenbesitzer und auch Mühlenbauer, verschrieben. Diese waren zum Teil schon älteren Jahrgangs, z.B. «Die Mühle» mit der Erstausgabe im Jahre 1864, andere, beispielsweise «Der Mühlen- und Speicherbau» im Jahre 1908 oder «Die Wasserkraft», das Publicationsorgan des Vereins deutscher Wasserkraftbesitzer im Jahre 1910, erschienen zeitgleich zu dieser Flut von Fachzeitschriften.

Beiträge zur Steigerung der Schluckmengen neuer Turbinenmodelle unter Laborbedingungen suchte der Leser vergeblich. Vielmehr orientierten sich die Zeitschriften an Fragen und Problemen, die ihren Bezugspunkt im Alltagsleben der Kleinwasserkraftnutzer fanden. Als wichtige Kommunikationsplattform für die Abonnenten diente die Rubrik «Fragen und Auskünfte» der Zeitschriften «Die Wasserkraft» oder «Die Mühle». Hier wurde für die tagtägliche Nutzung relevantes Wissen diskutiert und damit auch zirkuliert: Die Themen reichten von der effizientesten Enteisungstechnik von Wasserradanlagen über geeignete Schutzmittel der hölzernen Teile einer Wasserkraftanlage vor Fäulnis bis hin zu der oft gestellten und lebhaft diskutierten Frage, ob sich bei dem Umbau bzw. Neubau einer Kleinwasserkraftanlage der Einbau einer Turbine oder eines Wasserrades empfehle. Die antwortenden Experten, Mühlenbau- oder Turbineningenieure, waren sich zumeist uneinig. Die ausgesprochenen Empfehlungen, ob Wasserrad oder Turbine für den individuellen Fall als vorteilhaftester Energiespender auszuwählen sei, blieben stets von den Eigeninteressen sowie dem akademischen Werdegang des Experten beeinflusst: Ein Vertreter der Wasserradfirma Maschinenfabrik & Eisengiesserei Friedrich Horn sprach sich in seinen Beiträgen ausschliesslich für die Anlage von Wasserrädern aus, ein Turbineningenieur legte in der Regel die Turbinentechnik nahe⁴¹ – jedoch stets mit dem Hinweis, die örtlichen Verhältnisse (Wasserstandsschwankungen, Baugrund und Geschiebeführung) vorab einer «sachgemässen Prüfung» zu unterziehen.⁴² Die Zeitschriften zeugen davon, dass die Auswahl der treffendsten Antriebsmaschine für die meisten Abnehmer im Kleinbetrieb auch nach 1900 noch keinesfalls so eindeutig war, wie es die Mehrheit der Turbinenkonstrukteure in ihren Fachartikeln zugunsten der Turbinentechnik propagierte. Dieses lassen auch die immer wiederkehrenden Unmutsbekundungen kleiner Kraftwerksbesitzer vermuten, die ihre Anlage, dem Trend der Zeit folgend, auf die neue Turbinentechnik umgerüstet hatten. Einige beklagten, dass ihre neue Turbine das Versprechen der Effizienzsteigerung nicht einlöste, z.B. weil stetiger Laubeinfall die Laufräder blockierte. Zu den vorgeschlagenen Lösungsstrategien zur Behe-

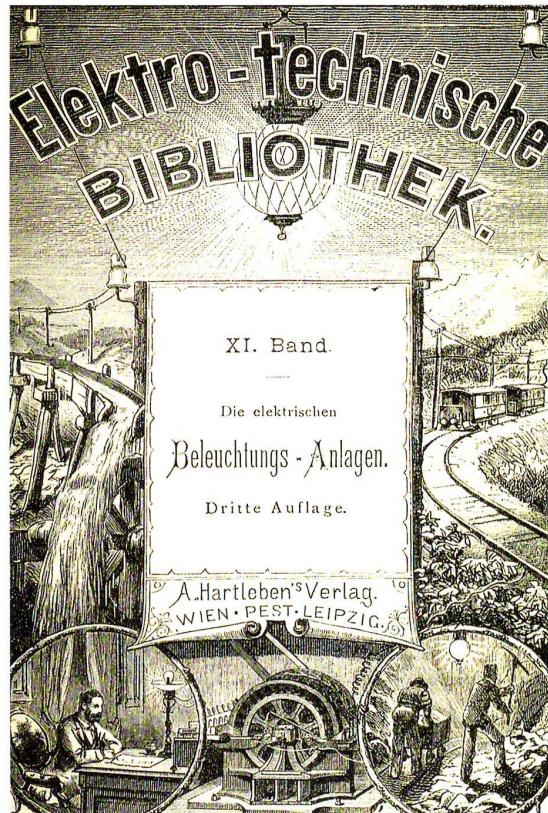


Illuminierung des Ausstellungsgeländes der «Electrischen Landes-Industrie-, Forst- und culturhistorischen Ausstellung» in Steyr im Jahre 1883 durch Antrieb eines Wasserrades an der Heindl-Mühle.
 (Quelle: Richard Hufschmied: «Weisses Gold» in der Donaumonarchie. In: Oliver Rathkolb (Hg.): Wasserkraft, Elektrizität, Gesellschaft. Kraftwerksprojekte ab 1880 im Spannungsfeld. Wien 2012, S. 27–65)

bung der Missstände zählten auch Empfehlungen, die Turbine wieder zurückzubauen und zum Wasserradantrieb zurückzukehren.⁴³

Es fehlte weitgehend an diskursiven Räumen, in denen Theoretiker und Praktiker in Kontakt treten konnten. Nicht nur die Zeitschriften adressierten ein bestimmtes wissenskulturell geprägtes Publikum, die Parallelität zwischen den Wissensformen durchzog auch das Ausbildungswesen: Auf der einen Seite begegnen uns am Ende des 19. Jahrhunderts die praxisorientierten Fachschulen für Mühlenbauer, auf der anderen Seite die stark von technikwissenschaftlicher Forschung geprägten Hochschulen mit ihren zugehörigen Forschungsinstituten.⁴⁴ Die Rubrik «Fragen und Auskünfte» bot nun eine Plattform, welche Wissen aus dem Bereich der Forschung in den Bereich der praktischen Anwendung vermittelte.

Die Rubrik ermöglichte einen Austausch zwischen dem Fachmann und dem Nutzer bzw. Interessenten. In Kontakt traten handwerklich orientierte Mühlenbau-



Cover eines Handbuchs zur Elektrotechnik.

(Quelle: Alfred von Urbanitzky: Die elektrischen Beleuchtungs-Anlagen mit besonderer Berücksichtigung ihrer praktischen Ausführung (= Elektro-technische Bibliothek 11). Wien 1883)

er bzw. -besitzer und theoriekundige Ingenieure auch in Fachkursen für Kleinwasserkraftnutzer, in denen «notwendige theoretische Kenntnisse» vermittelt wurden.⁴⁵ Derartige rar gesäte Angebote dürften die Kluft zwischen traditionellen und jüngeren Wissensformen zumindest in Ansätzen überbrückt haben.

Resümee

Mir ging es im Rahmen meiner Ausführungen nicht darum, die Geschichte der Wasserkraft vollständig umzukrempeln: Die systematischen Versuche der Wissenschaft zu verschiedenen Turbinentypen dominierten die Wasserkraftentwicklung und -produktion am Ende des 19. und Anfang des 20. Jahrhunderts. Davon zeugt der schier unendliche Strom an Fachartikeln über die hochgelobte Energie der Zukunft und technische Errungenschaften im Turbinenbau.

Doch hoffe ich vermittelt zu haben, dass der alleinige Blick auf die Geschichte der Technikwissenschaften eben nicht alle Entwicklungen und Wissensformen der Zeit berücksichtigt. In Anlehnung an das disziplinprä-

gende Werk des Technikhistorikers David Edgerton «The Shock of the Old»⁴⁶ lassen sich, übertragen auf die Wissensformen der Kleinwasserkraft, diverse Hinweise finden, dass die vermeintlich alten und überholten Wissensformen auch im 20. Jahrhundert noch nicht ausgedient hatten. Für die Aneignung von Kleinwasserkraftanlagen fielen oftmals andere Faktoren als allein das Leistungskriterium ins Gewicht: z.B. Faktoren, die an die örtlichen Gegebenheiten und praktischen Anwendungen der Technik geknüpft waren.

Das in den Laboratorien generierte wissenschaftliche, formelle Wissen zirkulierte innerhalb eines abgeschoteten Kreises von Wissenschaftlern in weissen Kitteln und fand im Lebensalltag der meisten Kleinwasserkraftnutzer – ausserhalb der Black-Box-Labatorien – nur noch wenige Bezugspunkte. Die Wissensgeschichte der Kleinwasserkraft ist demnach in erster Linie als eine Geschichte unterschiedlicher Wissenskulturen zu schreiben, in der die Interessen der Praktiker bzw. Anwender sowie die Interessen der Theoretiker und Wissenschaftler kaum zueinanderfanden.

Das traditionelle Wissen um die Wasserradtechnik konstituierte nicht nur lange Zeit neben der noch jungen versuchsbasierten Wissenschaft. Vor dem Hintergrund veränderter wirtschaftspolitischer Rahmenbedingungen vermengte sich das traditionell-handwerkliche Wissen in den 1920er-Jahren in neuartiger Weise mit dem Methodenrepertoire der wissenschaftlichen Turbinenforschung, um sowohl die Wasserrad- als auch die Turbinentechnik zu einem neuen Höhepunkt ihrer konstruktiv-technischen Entfaltung zu führen.

Die meisten Wasserkraft-Enthusiasten waren sich zu Beginn der 1880er-Jahre, als die Elektrifizierung der Wasserkraft noch in den Kinderschuhen steckte, einig, dass die Turbinentechnik der Hydroelektrizität den Weg weisen werde.⁴⁷ Doch lassen sich gleichzeitig Indizien für die Einbindung der Wasserradtechnik in die Debatte um die Zukunft der Energieversorgung finden. Das Plakat der «Electrischen Landes-, Industrie-, Forst- und culturhistorischen Ausstellung» in Steyr im Jahre 1883 sowie das Cover eines Handbuchs zur Elektrotechnik (1883) setzen die Elektrifizierung der Wasserkraft nicht mit der Turbine, sondern mit dem Wasserrad in einen Zusammenhang.⁴⁸ Eingedenk dessen, dass derartige Wissensmedien, Handbücher und Ausstellungen insbesondere der Repräsentation neuester technologischer Errungenschaften und der Vermittlung des aktuellen Technikstandes dienten, bleibt zu vermuten, dass die «grosse Masse des Alltäglichen»⁴⁹, die vielen dezentral verstreuten Kleinwassermühlen sowie die ihnen anhaftenden traditionellen Wissensformen noch viel stärker im Alltagsleben der meisten Menschen verwurzelt waren, als es die Prophezeiungen der Turbineningenieure

vermuten lassen. Der Wissensträger Wasserrad hat die Generierung neuen Technikwissens auch im 20. Jahrhundert noch wesentlich mitgetragen.



Christian Zumbrägel

Christian Zumbrägel hat das Lehramt für Gymnasien für die Fächer Geschichte und Biologie 2011 mit dem Ersten Staatsexamen abgeschlossen. In seiner Abschlussarbeit, die 2012 mit dem Energie-Preis und 2013 mit dem Karl Otmar Freiherr von Aretin-Preis der TU Darmstadt ausgezeichnet wurde, beschäftigte er sich mit der Bedeutung der Donau für die Holzversorgung Wiens in der vorindustriellen Zeit. Im Jahr 2012 bezog er ein mehrmonatiges Förderstipendium vom Darmstädter Graduiertenkolleg «Topologie der Technik» (DFG 1343). Aktuell arbeitet er als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl von Prof. Mikael Hård an der Technischen Universität Darmstadt zum Dissertationsthema mit dem Titel «Viele Wenige machen ein Viel» – Sozionaturale Räumlichkeiten der Kleinwasserkraft im 19. und frühen 20. Jahrhundert» (Näheres zum Projekt: <http://www.ifs.tu-darmstadt.de/index.php?id=3352>).

¹ Vgl. Ernst Reichel: Aus der Geschichte der Wasserkraftmaschinen. In: Beiträge zur Geschichte der Technik und Industrie 18 (1928), S. 57–68; Hans-Joachim Braun: Technische Neuerungen um die Mitte des 19. Jahrhunderts. Das Beispiel der Wasserturbinen. In: Technikgeschichte 46 (1979), S. 285–305; Walter Sbrzesny: Die Entwicklung des Wasserbaues im 19. und 20. Jahrhundert. In: Technikgeschichte 28 (1939), S. 99–108, hier S. 99.

² Vgl. Peter Theissen: Mühlen und Müller im Münsterland. Der Einsatz von Wasser- und Windmühlen im Oberstift Münster. Münster [u.a.] 2001, S. 52–53.

³ Vgl. Wilhelm Ruckdeschel: Technische Neuerungen im Wandel der Energiegewinnung. In: Claus Grimm (Hg.): Aufbruch ins Industriezeitalter, Bd. 1: Linien der Entwicklungsgeschichte [= Veröffentlichungen zur bayerischen Geschichte und Kultur, Bd. 3]. München 1985, S. 107–142, hier S. 116; Louis C. Hunter: A History of Industrial Power in the United States, 1780–1930. Volume 1: Waterpower in the Century of the Steam Engine. Charlottesville 1979, S. 388–390.

- ⁴ Gerhard Zweckbronner: Technische Wissenschaften im Industrialisierungsprozess bis zum Beginn des 20. Jahrhunderts. In: Armin Hermann, Charlotte Schönbeck (Hgg.): *Technik und Wissenschaft*. Düsseldorf 1991, S. 400–429, hier S. 416.
- ⁵ Vgl. Joachim Radkau, Joachim Varchmin: Kraft, Energie und Arbeit. *Energie und Gesellschaft*. Hamburg 1981, S. 51; Dietmar Bleidick: Art. «Wasserkraft». In: *Enzyklopädie der Neuzeit* 8 (2008), Sp. 690–705, spez. Sp. 701–703 [5.3. «Prozess der Verwissenschaftlichung»]; Otfried Wagenbreth et al.: *Mühlen. Geschichte der Getreidemühlen. Technische Denkmäler in Mittel- und Ostdeutschland*. Stuttgart/Leipzig 1994, S. 153f.
- ⁶ Otto Mayr: *Die Verwertung der Wasserkräfte und ihre modernrechtliche Ausgestaltung in den wasserwirtschaftlich wichtigsten Staaten Europas*. Wien 1909, S. 6.
- ⁷ Theodor Rehbock: Der wirtschaftliche Wert der binnentümlichen Wasserkräfte. In: *Die Weiße Kohle* 1 (1908), S. 1–4, hier S. 2.
- ⁸ David Blackbourn: *Die Eroberung der Natur. Eine Geschichte der deutschen Landschaft*. München 2008, S. 267; F. Berger: Geschichtliches von den Wasserkraftanlagen. In: *Die Wasserkraft* 3 (1912), Sp. 22–34, hier Sp. 34.
- ⁹ Theodor Koehn: Wasserwirtschaftliche Aufgaben Deutschlands auf dem Gebiete des Ausbaues von Wasserkräften. Vortrag, gehalten am 20. März 1908 auf der Mitgliederversammlung des Zentralverbandes für Wasserbau und Wasserwirtschaft. Berlin 1908, S. 9; zu den systematischen Wasserradversuchen im 18. Jahrhundert: Klaus Mauersberger: Herausbildung der Technikwissenschaften in der industriellen Revolution. In: Rolf Sonnemann, Gisela Buchheim (Hg.): *Geschichte der Technikwissenschaften*. Leipzig 1990, S. 145–227, hier S. 187.
- ¹⁰ Tanja Paulitz: *Mann und Maschine. Eine genealogische Wissensoziologie des Ingenieurs und der modernen Technikwissenschaften, 1850–1930*. Bielefeld 2012, S. 126.
- ¹¹ Vgl. Matthias Heymann, Ulrich Wengenroth: Die Bedeutung von « *tacit knowledge*» bei der Gestaltung von Technik. In: Ulrich Beck (Hg.): *Die Modernisierung der Moderne*. Frankfurt/Main 2001, S. 106–121, hier S. 109.
- ¹² Vgl. David Blackbourn: *The Culture and Politics of Energy in Germany. A Historical Perspective* (= RCC Perspectives 2013/4). München 2013, S. 14; Ludwig Fischer-Reinau: Die wirtschaftliche Ausnutzung der Wasserkräfte. In: *Bayerisches Industrie- und Gewerbeblatt* 40 (1908), S. 71–111, hier S. 102–103.
- ¹³ Emil Mattern: Die Ausnutzung der Wasserkräfte. Technische und wirtschaftliche Grundlagen. Leipzig 1908², S. 523, 586f.
- ¹⁴ Ludwig Quantz: *Wasserkraftmaschinen. Eine Einführung in Wesen, Bau und Berechnung von Wasserkraftmaschinen und Wasserkraftanlagen*. Berlin/Göttingen/Heidelberg 1907 [Kap. V Wasserräder, S. 92–102], hier S. 24 o. 102.
- ¹⁵ Vgl. Michael Hascher: Es klappert die Mühle... In: *Kultur & Technik* 31 (2007), S. 22–25, hier S. 23.
- ¹⁶ Vgl. John Staudenmaier: *Technology's Storytellers. Reweaving the Human Fabric*. Cambridge, London 1985.
- ¹⁷ Edwin Layton: *Scientific Technology, 1845–1900. The Hydraulic Turbines and the Origins of American Industrial Research*. In: *Technology and Culture* 20 (1979), S. 64–89, hier S. 88.
- ¹⁸ Vgl. Ernst Reichel: Wassermessungen an der Versuchsanstalt für Wassermotoren an der K. tech. Hochschule zu Berlin. *Festschrift zur 17. Hauptversammlung des Vereins Deutscher Ingenieure*. In: *Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure* 52 (1908), S. 1835–841, hier S. 1839; John R. Freemann, George de Thierry: Vorwort. Geschichtliche Entwicklung des wasserbaulichen Versuchswesens und einige bemerkenswerte Wasserbaulaboratorien in Amerika. In: George De Thierry, Conrad Matschoss (Hg.): *Die Wasserbaulaboratorien Europas. Entwicklung – Aufgabe – Ziele*. Berlin 1926, S. 1–40, hier S. 3.
- ¹⁹ Vgl. Philipp Felsch: *Das Laboratorium. In: Alexa Geisthövel, Habbo Knoch (Hg.): Orte der Moderne. Erfahrungswelten des 19. und 20. Jahrhunderts*. Frankfurt am Main/New York 2005, S. 27–36.
- ²⁰ Vgl. Emil Mattern: Die Ausnutzung der Wasserkräfte. Technische und wirtschaftliche Grundlagen. Neuere Bestrebungen der Kulturländer. Leipzig 1921³.
- ²¹ Vgl. Michael Mende: Das Interesse an der Wasserkraft-Nutzung im Wechsel von Verdrängung und Belebung: Voraussetzungen von Wasserrädern für die Nutzung kleiner Wasserkräfte? In: Anita Kruse, Gerhard A. Stadler (Hg.): *Technik zwischen Akzeptanz und Widerstand. Gesprächskreis Technikgeschichte 1982–1996* (= Cottbusser Studien zur Geschichte von Technik, Arbeit und Umwelt, Bd. 8). New York/München/Berlin 1999, S. 40–50, hier S. 46f.
- ²² Vgl. Rudolf Camerer: Was muss der Besitzer einer Wasserkraft vom Turbinenbau wissen? In: *Verein deutscher Ingenieure. Siegener Bezirks-Verein* 1902, S. 1–4, hier S. 3; Artur Budan: Die Entwicklung der Wasserturbinen in den letzten 15 Jahren. In: *Die Wasserkraft. Zeitschrift für die gesamte Wasserwirtschaft* 17 (1922), S. 196–205, hier S. 196; Martin Gschwandter: Gold aus den Gewässern: Viktor Kaplans Weg zur schnellsten Wasserturbine. München [u.a.] 2007, S. 76.
- ²³ V. Graf: Fortschritte im Bau kleiner Wasserkraftanlagen. In: *Zeitschrift für das gesamte Turbinenwesen* 14 (1917), S. 181–215, hier S. 206.

- ²⁴ D. Thoma: Die Bedeutung des Versuchswesens für die Ausbildung der Wasserkraftwerke. In: *Wasserkraft und Wasserwirtschaft* 24 (1929), S. 152–158, hier S. 153.
- ²⁵ Vgl. Mikael Hård: *Technology as Practice. Local and Global Closure Processes in Diesel-Engine Design*. In: *Social Studies of Science* 24 (1994), S. 549–585, hier S. 554.
- ²⁶ Wilhelm Müller: Anlage zweier Zuppinger Niedergefällexeräder von 40 bis 100 PS Leistung. In: *Dinglers Polytechnisches Journal* 326 (1911), S. 753–777, hier S. 753; Carl Reindl: Richtlinien für die Bewertung von Wassernutzungen und Wassernutzungsanlagen. München 1936, S. 32; Wilhelm Müller: Oberschlächtiges eisernes Zellenwasserrad mit 10 m Durchmesser. In: *Dinglers Polytechnisches Journal* 315 (1900), S. 557–600, hier S. 557.
- ²⁷ Vgl. F. Hoyer: Moderne Wasserräder. In: *Die Wasserkraft. Zeitschrift für die gesamte Wasserwirtschaft* 17 (1922), S. 349–351, hier S. 351.
- ²⁸ Carl Reindl: Zur Verwendung moderner Wasserräder. In: *Die Wasserkraft. Zeitschrift für die gesamte Wasserwirtschaft* 18 (1923), S. 134.
- ²⁹ Vgl. Thoma, Bedeutung des Versuchswesens (wie Anm. 24), S. 153.
- ³⁰ Theodor Koehn: Der Ausbau der Wasserkräfte in Deutschland. In: *Zeitschrift für das gesamte Turbinenwesen* 3 (1908), S. 462–496, hier S. 477.
- ³¹ Vgl. N.N.: Was muss der Besitzer einer Wasserkraft vom Turbinenbau wissen? In: Briegleb, Hansen & Co. 4 (1909), S. 1–48, hier S. 3.
- ³² H. von Schon: Hydro-electric Power versus Steam for Industrial Plants. In: *The Engineering Magazine* 33 (1907), S. 184–194, S. 192.
- ³³ Wilhelm Müller: *Die eisernen Wasserräder. Berechnung, Konstruktion und Bestimmung ihres Wirkungsgrades. Erster Teil: Die Zellenräder*. Leipzig 1899, Vorwort u. S. 2, 141.
- ³⁴ Vgl. Radkau, Varchmin, Kraft (wie Anm. 5), S. 53; Wilhelm Müller: *Die Wasserräder. Berechnung, Konstruktion und Wirkungsgrad*. Leipzig 1939².
- ³⁵ F. Euler: Francis-Turbine oder oberschlächtiges Wasserrad? In: *Die Mühle* 60 (1923), Sp. 667–670, hier Sp. 667: «Der Entwurf eines Wasserrades, das mit einer guten neuzeitlichen Turbine erfolgreich in Wettbewerb treten kann, setzt ein erhebliches Mass von theoretischen Kenntnissen voraus. Nicht jeder sog. Mühlenbauer kann ein wirklich gut arbeitendes Rad bauen.»
- ³⁶ Ebd.; Hinweise auch bei Mende, Verdrängung (wie Anm. 21), S. 49.
- ³⁷ Anton Staus: *Wasserradversuche*. In: *Wasserkraft und Wasserwirtschaft* 18 (1928), S. 259–260; Karl Wilhelm Meerwarth: *Experimentelle und theoretische Untersuchungen am oberschlächtigen Wasserrad*. Stuttgart 1935.
- ³⁸ Vgl. Donat Bánki: *Neue Wasserturbine*. In: *Zeitschrift für das gesamte Turbinenwesen* 15 (1918), S. 181–215, hier S. 182; W. Speiser: *Eine neue Wasserturbine. Miszelle*, in: *Dinglers Polytechnisches Journal* 333 (1918), S. 175.
- ³⁹ Vgl. Philipp Sarasin: *Was ist Wissengeschichte?* In: *Internationales Archiv für Sozialgeschichte der deutschen Literatur* 36 (2011), S. 159–172, hier S. 168.
- ⁴⁰ Vgl. Koehn, Ausbau der Wasserkräfte (wie Anm. 30), hier S. 476.
- ⁴¹ Auf diese Problematik verweist auch Wilhelm Müller in seinem Werk: Müller, *Eiserne Wasserräder* (wie Anm. 33), S. 2.
- ⁴² Z.B. die Antwort der Maschinenfabrik & Eisengiesserei Friedrich Horn auf die Frage, ob der Einbau eines Wasserrades oder einer Turbine für ein Elektrizitätswerk am vorteilhaftesten sei (Frage Nr. 1375). In: *Die Wasserkraft* 2 (1911), Sp. 160.
- ⁴³ Vgl. Frage Nr. 921: *Die Wasserkraft* 1 (1910), Sp. 99.
- ⁴⁴ Vgl. Wagenbreth, Mühlen (wie Anm. 5), S. 153.
- ⁴⁵ Vgl. N.N.: *Bau von Wasserkraftanlagen*. In: *Der Mühlen- und Speicherbau* 1 (1908), S. 389.
- ⁴⁶ Vgl. David Edgerton: *The Shock of the Old. Technology and Global History Since 1900*. London 2008.
- ⁴⁷ Vgl. Quantz, *Wasserkraftmaschinen* (wie Anm. 14), hier S. 102; [Friedrich Engels]: *Die elektrotechnische Revolution. populär-wissenschaftlich dargestellt und mit erläuternden Illustrationen versehen von einem Fachmann*. München 1883, S. 66 bzw. S. 73.
- ⁴⁸ Vgl. Richard Hufschmied: «Weisses Gold» in der Donaumonarchie. In: Oliver Rathkolb (Hg.): *Wasserkraft, Elektrizität, Gesellschaft. Kraftwerksprojekte ab 1880 im Spannungsfeld*. Wien 2012, S. 27–65, hier S. 35–37; Alfred von Urbanitzky: *Die elektrischen Beleuchtungs-Anlagen mit besonderer Berücksichtigung ihrer praktischen Ausführung (= Elektro-technische Bibliothek 11)*. Wien 1883 [Buchcover]; weitere Indizien: N.N.: *Die elektrische Straßenbeleuchtung in Triberg (Baden)*. In: *Dinglers Polytechnisches Journal* 257 (1885), S. 535–536.
- ⁴⁹ Graf, *Fortschritte* (wie Anm. 23), hier S. 181.