

Von Mühlenärzten, Turbinenwärtern und Eiswachen

Instandhaltungen am Technikensemble
Wasserkraftanlage um 1900

Christian Zumbrügel

EINLEITUNG

Technische Gegenstände und Infrastrukturen werden nicht nur produziert und genutzt. In den späteren Phasen ihrer Existenz schließen sich weitere Dimensionen des Technikumfangs an. Techniken verschleßen und gehen kaputt, weshalb das ›Alte‹ immer auch gewartet, repariert, mit Ersatzteilen ausgestattet oder letztlich aussortiert und weggeworfen wird (Weber 2014). Diese Tätigkeitsformen im Umfeld des Gebrauchs stehen in der Technikgeschichte noch immer weit hinter Forschungsperspektiven zurück, die untersuchen, wie sich technische Neuerungen entwickeln und schließlich durchsetzen, um das ›Alte‹ abzulösen (Lindqvist 1994: 272; Reith/Stöger 2012: 174). Eingriffe, die Betrieb und Erhalt des Technischen garantieren, sind jedoch für unseren alltäglichen Technikumfang langfristig sehr prägend, wie es die Einleitung dieses Bands zeigt (Krebs/Schabacher/Weber 2018, in diesem Band). Der Technikhistoriker David Edgerton sieht sie sogar als prägender und wirkmächtiger an als die Einführung und Nutzung des technisch ›Neuen‹ (Edgerton 2008: 78).

Kulturwissenschaftler und Technikhistoriker haben in den letzten Jahren die gesellschaftliche Relevanz dieser lange marginalisierten Formen der Technikinteraktion betont und Wartung und Reparatur in verschiedenen Technikbereichen als zentrale ökonomische und sozio-kulturelle Felder beschrieben, um die Lebensdauer bestimmter Techniken zu verlängern (Krebs 2012; Möser 2012). Allerdings fragten die bisherigen Untersuchungen selten danach, inwiefern die praktischen Wartungs- und Reparaturhandlungen mit der jeweiligen Umgebung – etwa Umwelteinwirkungen oder den infrastrukturellen Voraussetzungen – in Wechselwirkung standen. Was aber ist mit Fällen, in denen für die Funktionalität einer Technik

nicht allein das Mensch-Maschine-Verhältnis bestimmend war, sondern wenn diese maßgeblich von den standörtlichen Verhältnissen vor Ort beeinflusst wurde?

Das Beispiel der Kleinwasserkrafttechnik macht darauf aufmerksam, in welchem Maße externe Einflüsse die Praktiken der Wartung und Reparatur mitstrukturierten: Wer beispielsweise um 1900 ein Wasserrad oder eine Turbine betrieb, um mithilfe der Fließkraft eines Bachlaufs die Arbeitsgänge einer Mahlmühle, Schleiferei oder kleinen Elektrizitätszentrale anzutreiben, der richtete seine Tätigkeiten längst nicht nur nach den sozio-ökonomischen Rahmenbedingungen, etwa den Arbeits- oder Produktionsbedingungen, aus. Witterungen, Sedimentationsfluss oder infrastrukturelle Anbindungen gestalteten die energiewirtschaftlichen Aktivitäten am Wasserlauf wesentlich mit. Dieses galt gleichermaßen für die Eingriffe der Wasserrad- und Turbinenbetreiber, die erforderlich waren, um die einzelnen Maschinenteile oder die wasserbaulichen Strukturen der Kraftstation betriebsfähig zu halten. Im wasserkrafttechnischen Wartungs- und Reparaturgewerbe war ein profundes Wissen über die standörtlichen Bedingungen am jeweiligen Gewässer nicht selten die Grundvoraussetzung, um eine hydraulische Maschine effektiv am Laufen zu halten. Diese korrelative Beziehungskonstellation – das Zusammenspiel zwischen Mensch, Technik und der (natürlichen) Umgebung – gilt es in der historischen Analyse ernst zu nehmen, will man die Wartungs- und Reparaturkulturen dieser Energieform durchdringen und in ihren Verstrickungen mit den spezifischen Einsatzbedingungen vor Ort plausibel erzählen (Russell et al. 2011; Pritchard 2014).

Aus technikhistorischer Perspektive spürt der folgende Beitrag den Prozessen der Instandhaltung und Instandsetzung am Technikensemble Wasserkraftanlage auf einer regionalen Ebene nach. Ich wende mich den energiewirtschaftlichen Praktiken der Betreiber kleiner metallverarbeitender Produktionsstätten in den rheinisch-westfälischen Mittelgebirgen zu, die die Fließkraft der zahlreichen Bäche und Flüsse im Bergischen Land und märkischen Sauerland als energetische Grundlage nutzten, um Eisenwaren zu produzieren. Entlang dieser Wasserläufe, die die transporttechnisch schlecht angebundene Seitentäler der Ruhr und Wupper durchströmten, waren die traditionellen Antriebsformen der Wasserkraft noch bis in die Zwischenkriegszeit das wichtigste Standbein der lokalen Energieversorgung (Zumbrägel 2018). Die vielen dezentralen mit Wasserrädern angetriebenen Hammerwerke, Drahtrollen und Schleifkotten standen dabei in augenfälligem Kontrast zu den noch jungen turbinengetriebenen Großanlagen zur Stromversorgung, die sich in den ersten Jahrzehnten des 20. Jahrhunderts an größeren Strömen emporhoben (Pritchard/Zeller 2010: 80; Evenden 2015; Lagendijk 2015; Landry 2015).

Wie zu zeigen sein wird, ging die Gleichzeitigkeit vermeintlich ungleichzeitiger Antriebs- und Nutzungsformen der Wasserkraft mit unterschiedlichen Kulturen des Reparierens und Wartens einher. In dieser Mittelgebirgsregion blieben Wartungskniffe und Formen der Wasserrad-Selbst-Reparatur auf Basis lokalen Wissens und handwerklichen Könnens bis weit ins 20. Jahrhundert praktische Maßnahmen, um die ›alten‹ Techniken funktionsfähig zu halten. Der Übergang zur modernen Was-

serturbine sollte hingegen mit dieser lokalen Expertise brechen und erforderte neue Wartungs- und Reparaturkompetenzen. Die Turbinentechnik brachte allerdings längst nicht unter allen standörtlichen Verhältnissen Vorteile mit sich. Beispielsweise war die Pflege dieser Maschinen an einem entlegenen Wasserlauf für den Betreiber einer Kleinanlage ökonomisch, technisch und logistisch nicht mehr zu bewerkstelligen. Der folgende Beitrag geht diesen im Feld der Wasserkrafttechnik relevanten Kulturen des Reparierens und Wartens nach. Es wird in diesem Zusammenhang danach gefragt, unter welchen Einsatzbedingungen am Wasserlauf der zu erwartende Reparatur- und Wartungsaufwand letztlich auch darüber mitbestimmte, ob und wo die neue Antriebstechnik zum Einsatz kam bzw. die »alte« aufrechterhalten wurde.

Im Folgenden skizziere ich zunächst, welche Rolle einzelne Bestandteile des Technikensembles Wasserkraftanlage in den Wartungs- und Reparaturprozessen in diesem Energiefeld einnahmen. Im Anschluss werden die Reparatureingriffe und alltäglichen Wartungskniffe zeitgenössischer Mühlenärzte, Turbinenwärter, Eiswachen oder auch der regionalen Metallfabrikanten analysiert. Diese Tätigkeiten waren in unterschiedliche Kontexte eingebunden: je nachdem, ob sie planmäßig oder ungeplant erfolgten, permanent oder gelegentlich anfielen bzw. eine hohe oder geringe Arbeitsbelastung einforderten. Es lassen sich hinsichtlich dieser Eigenschaften drei Typen der wasserkrafttechnischen Wartung und Reparatur unterteilen: erstens die im tagtäglichen Rhythmus anfallende Wartung, zweitens Instandhaltungen und Instandsetzungen, die den Umwelteinwirkungen in saisonalen Zyklen folgten, drittens Korrektur- und Sanierungsarbeiten, die erst beim Totalausfall der Antriebstechnik erforderlich wurden. Mit den ersten beiden Typen rücken vornehmlich Praktiken des Pflegens und Wartens in den Vordergrund. Wie das Reparieren, so führten solche Tätigkeiten dazu, dass die jeweilige Wasserkrafttechnik möglichst lange weiter genutzt werden konnte. Sie stellten aber keine reparierenden Eingriffe dar, sondern wollten Reparaturen als Folge des Kaputtgehens viel eher verhindern. Der letzte Fall, in dem es um die Reparaturtätigkeit bei Stillstand der Anlage geht, macht deutlich, inwiefern diese Aspekte der Instandhaltung mit der Wahl der geeignetsten Antriebstechnik am Wasserlauf zusammenhängen.

Die vorgeschlagene Kategorisierung ermöglicht es, Tätigkeitsformen der wasserkrafttechnischen Wartung und Reparatur genauer zu unterscheiden und damit sichtbar zu machen. Denn bisher hat sich auch die Wasserkrafthistoriographie auf die Einführung und Nutzung technischer Neuerungen konzentriert und spätere Phasen im Umgang mit Technik weitgehend vernachlässigt, die wie das Instandhalten und Reparieren dabei halfen, die Lebensdauer bestehender Wasserkrafttechniken zu verlängern. Das entspricht in gewisser Weise dem verfügbaren Quellenkorpus: Wir haben es bei diesen Tätigkeitsformen überwiegend mit *tacit knowledge* und Wissensbeständen zu tun, die über Erfahrung und praktisches Tun erarbeitet und weitergegeben wurden. Zwar werden Wartung und Reparatur als Themen in den Quellen selten systematisch ausgeführt und erst recht nicht unter

den vorgeschlagenen Kategorien als Lehrkanon behandelt. Dennoch wird Wartungs- und Reparaturwissen in den Quellen immer dann kommuniziert, wenn es zu unplanmäßigen Störungen kam, die die reibungslosen Abläufe am Technikensemble Wasserkraftanlage unterbrachen. In den Fachblättern der Kleinwasserkraft- und Mühlenvereine wie *Die Mühle* traten die für wasserkrafttechnische Wartungs- und Reparaturfragen relevanten Akteure und Wissensbestände in den Vordergrund, wenn eben nicht alles nach Plan lief und tüftelige Schwierigkeiten aufkamen, über die man sich austauschen wollte.¹ Dann suchten Wasserrad- und Turbinenbetreiber in den Leserforen der anwenderorientierten Zeitschriften, z.B. der Rubrik »Fragen und Auskünfte« der *Mühle*, nach Hilfestellungen, auf die Mühlenbauer, Mühlenärzte oder Anlagenbetreiber, die über ähnliche Störquellen berichten konnten, mit Lösungsvorschlägen reagierten. Selten beschränkten sich diese Ratschläge auf die konkrete Reparaturanleitung zur Behebung des Missstandes. In der Regel gaben die Experten dem Betroffenen praktische Wartungskniffe mit auf den Weg, die dem erneuten Auftreten der Störung durch vorsorgliche Pflege vorbeugen sollten. Für den Technikhistoriker sind diese »moments of mismatch« besonders interessant und produktiv, weil in ihnen das sonst implizite Wissen um diese Tätigkeitsformen explizit wird und in den Quellen zu fassen ist (Krebs 2017: 38).

DAS TECHNIKENSEMBLE WASSERKRAFTANLAGE

Wie es der Technik- und Umwelthistoriker Reinhold Reith pointiert festhielt, gehörten energietechnische Überformungen der natürlichen Gewässerverhältnisse schon in vorindustriellen Zeiten zu den »gravierendsten Landschaftsveränderungen« (Reith 2011: 30). Auch entlang der Bäche und Flüsse der bewaldeten Hügelketten der rechtsrheinischen Mittelgebirge hatten sich Betreiber kleiner metallverarbeitender Betriebe frühzeitig darum bemüht, die im jahreszeitlichen Zyklus wechselnden Pegelstände ihren energiewirtschaftlichen Bedürfnissen anzupassen. Im Laufe der Jahrhunderte überformten die rheinisch-westfälischen Metallfabrikanten die natürlichen Gewässerstrukturen in den Einzugsgebieten der Ruhr und Wupper zu diesem Zweck mit einem weit verzweigten energietechnischen Netzwerk. Der Kartenausschnitt der Ennepe (vgl. Abb. 1), einem Nebenfluss der Volme am nordwestlichen Rand des Sauerlands, zeigt diese dichte Folge kleiner wassergetriebener Hammerwerke mit ihren Stauteichen, Zuleitungs- und Abflussgräben.

Zwar waren Wasserkraftanlagen je nach lokaler Bautradition, Geländeprofil und Gewässerstruktur verschieden ausgelegt. Wie in Abbildung 2 und 3 ersichtlich,

1 *Die Mühle* war ein Wochenblatt, das vom Verband Deutscher Müller- und Mühleninteressenten herausgegeben wurde. Zwischen den 1860er und 1960er Jahren erschienen über hundert Bände, die sich stets auch den im Mühlenwesen verbreiteten (hydraulischen) Antriebstechniken widmeten.



Abb. 1: Kartenausschnitt mit Hammerwerken entlang der Ennepe. Sie sind an den sternförmigen Symbolen zu erkennen, denen – gekennzeichnet durch die ausgefüllten Flächen – jeweils Stauteiche vorgelagert sind.

folgte ihr Grundaufbau aber einer überregional typischen Abfolge einzelner Infrastrukturelemente. War an einer Kraftstation ein Wasserrad oder eine Turbine installiert, so staute zunächst ein oberhalb der Produktionsstätte quer durch den natürlichen Hauptfluss gelegtes Wehr einen Teil des Flusswassers ab. Ein von dem Wehr abzweigendes künstliches Gerinne, der Obergraben, leitete das Wasser schließlich einem der Kraftanlage vorgelagerten Wasserreservoir zu. Dieser Stauteich war als Tagesspeicher angelegt, in dem sich das Wasser während der Betriebspausen, z.B. in den Nachtstunden, sammelte, um es zu Zeiten des Produktionsbetriebs durch die

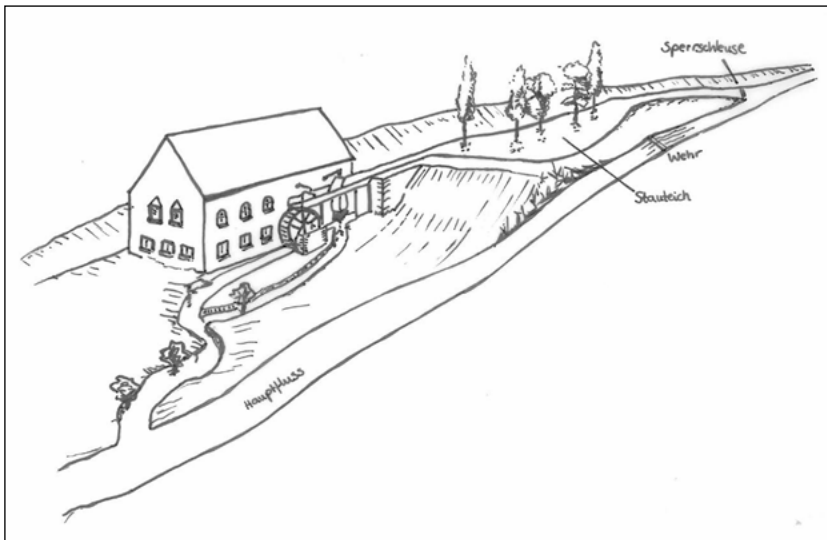
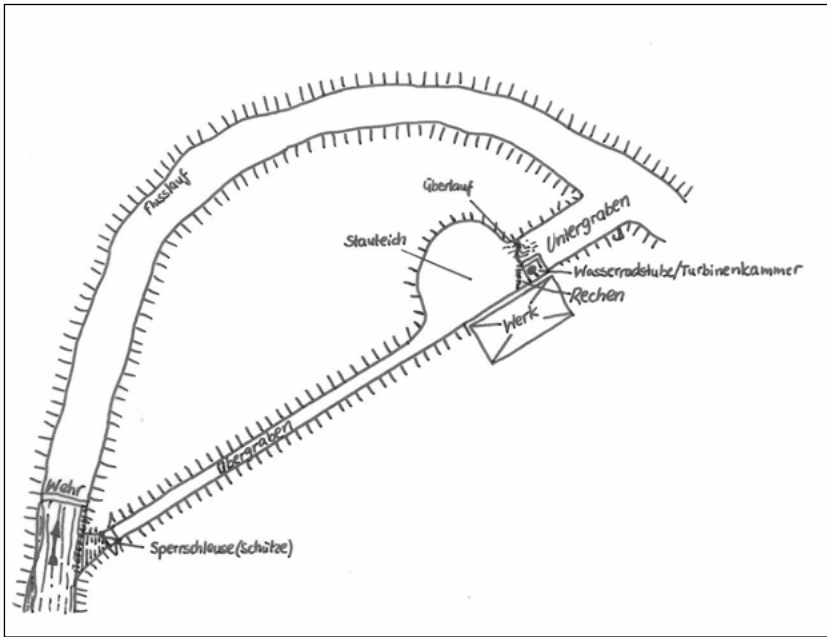


Abb. 2 u. 3: Skizzen des Technikensembles Wasserkraftanlage mit ihren zugehörigen Baukomponenten aus unterschiedlichen Perspektiven. Im Hauptfluss staut ein Wehr einen Teil des Flusswassers ab und führt es über den Obergraben in Richtung Stauteich, aus dem das Wasser nach Bedarf durch die Kraftanlage geschleust und schließlich über den Untergraben ins Hauptbett zurückgeführt wird.

hydraulische Kraftmaschine zu leiten. Mehrere Einbauten (Grundwerk) besaßen leitende und regulierende Funktion: Sperrschleusen oder Schütze, schiebeartige Vorrichtungen, dienten dazu, den Wasserstand im Obergraben entsprechend der Wasserführung einstellen zu können und sorgten dafür, dass das Antriebswasser nicht schwallartig, sondern in gleichmäßiger Geschwindigkeit in die Antriebstechnik einlief. Ein vor der Kraftstation installiertes Schutzgitter mit senkrechten Eisenstäben, der Rechen, fing im Wasserlauf mitgeführte Äste oder Treibhölzer ab, die vor allem die Wasserturbinen schnell verstopfen oder beschädigen konnten. Unterhalb der Kraftanlage floss das Betriebswasser über einen Abzugskanal, den Untergraben, ins Hauptbett zurück.

Die hier skizzierten Strukturelemente des Technikensembles dienten nicht nur der Regulierung der Wasser- und damit Kraftzufuhr. Die Bestandteile erfüllten gleichermaßen die Funktion, Schäden durch Umwelteinwirkungen von der Kraftstation abzuwehren. An den meisten Flussabschnitten ermöglichte es die raumgreifende Wasserleit- und Speicherinfrastruktur überhaupt erst, die Fließkraft mit kalkulierbarem Risiko kontrollieren zu können. Die künstlichen Eingriffe in die Wasserführung wirkten nämlich als eine Art Überschwemmungs- und damit auch Schadensprophylaxe: Mit der Verlagerung des Flusswassers in die Breite rückten die Kraftstationen, mitsamt der unfallträchtigen Antriebstechnik, aus der unmittelbaren Gefahrenzone für Hochwasser heraus, die Anlagenbesitzern an den wasserreichen Hauptzuflüssen dieser Mittelgebirgsregion in unregelmäßiger Folge eklatant zusetzten (Bleidick 2011: 698). Wehre, Zuleitungsgräben und Stauteiche verteilten das Betriebswasser in Rücksichtnahme auf Rückstau sowie Uferschutz und selektierten kritische Stoffeinträge des Wasserlaufs aus (Kammerer 1926: 113). Baumstämme, die in den stürmischen Herbstmonaten oder an alpinen Bächen zur Zeit der Frühjahrstrift das Gewässer herabdonnerten, wurden vor dem Wehr abgefangen. Der oft mit Holzbrettern oder Steinplatten ausgekleidete Obergraben bremste mitgeführtes Treibgut aus und schützte die angrenzenden Ufer vor Wellenschlag oder Eisgängen. Der Stauteich diente auch als Sammel- und Absatzbecken, in dem im Bachbett mitgeschwemmtes Treibgut »ausgefällt« wurde, noch bevor es den Rechen erreichte (Schmidt-Stölting 1930: 36). Führten in der hydraulischen Maschine verkeilte Äste oder Steine schließlich doch zum betrieblichen Stillstand, erleichterten die Wasserbauten die anfallenden Reparaturen. Der entscheidende Vorteil dieser Bauweise war es, dass der Turbinen- oder Wasserradbetreiber seine Kraftanlage durch Regulierung der Sperrschütze vom Obergraben abwärts entwässern konnte, sodass Sanierungsarbeiten an den wasserseitigen Bestandteilen im Trockenen durchzuführen waren. Vergleichbare Arbeiten wurden bei direkt in den Hauptstrom gebauten Laufwasserkraftwerken durch die permanenten Strömungen und Pegelschwankungen massiv beeinträchtigt (Laufen 1974: 70).

Werden die hier skizzierten Infrastrukturelemente einer Wasserkraftanlage in populärwissenschaftlich eingefärbten *coffee table books* oder Sachbüchern

über Wassermühlen gemeinhin als technisch fixierte und langlebige Formationen beschrieben, so wird im Zuge dessen gerne übersehen, dass sie ihren vermeintlich statischen Zustand nur einer stetigen Bearbeitung verdankten (Schabacher 2013: 145). Sollten Wehre, Zuleitungsgräben, Stauteiche und letztlich auch Antriebsmaschinen über lange Zeiträume funktionsfähig bleiben, mussten gerade diese Einzelkomponenten des Technikensembles in je spezifischen Rhythmen ausgebessert, repariert und in erster Linie konsequent gewartet werden (Edgerton 2008: 81).

DER TÄGLICHE WARTUNGSAUFWAND

Die Funktionalität der Gesamtanlage hing maßgeblich vom zeitlichen Aufwand ab, den die Belegschaft in die kontinuierlichen Überprüfungs- und Korrekturarbeiten an Maschinenteilen und Bausubstanz investieren wollte bzw. konnte. Bei der in den wassergetriebenen Betriebsstätten dieser Mittelgebirgsregion üblichen Belegschaftsgröße von meist nicht mehr als drei Personen war es kaum möglich, eine Arbeitskraft aus dem Produktionsgeschehen abzuziehen und ganztägig mit der Pflege und Ausbesserung der Anlage zu beauftragen. Eine solche Ausdifferenzierung der Wartungsarbeit in Form von spezifischem Personal vollzog sich in den Jahren um 1900 hingegen innerhalb einiger großbetrieblicher Wasserkraftanlagen.

In der kleinbetrieblichen Praxis war es »der Müller oder sein Gehilfe« selbst, der die Transmissionsriemen wachste, hölzerne Lager mit Fett einschmierte, verschlissene Getriebekämme oder Wellenlager auswechselte, den Wasserstand im Stauteich überprüfte und die Antriebstechnik von Geschiebeeinträgen befreite (Tomkins 1892: 2; Stahlschmidt 1975: 135). Da diese immer wieder anfallenden, vorsorgenden Wartungstätigkeiten arbeitsintensiv waren, wurden sie oft nur konsequent wahrgenommen, so lange sich diese problemlos in die kontinuierliche Produktionsfolge integrieren ließen. In den kleinen Drahtrollen, Hammerwerken und Schleifkotten kollidierte der fortlaufende Wartungsaufwand allerdings auch durchaus mit dem hohen Arbeitseinsatz, den der Gewerbetreibende, sein Lehrling oder Geselle für die Produktion der Stapel- oder Fertigwaren aufzuwenden hatte. Da die tägliche Betriebszeit im märkischen Eisengewerbe in der Regel auf die Stunden des Tageslichtes festgelegt war, saß die Belegschaft von den frühen Morgen- bis in die späten Abendstunden vor ihren Arbeitsmaschinen und war damit beschäftigt, Drähte zu ziehen, Roheisen zu hämmern oder Messer und Nadeln anzuspitzen (Scherer 2009: 134 u. 389).

Zwar war das präventive Pflegen und Warten der Maschinenteile und Wasserbauten für den kleinen Metallfabrikanten das einzige Mittel, die Energiezufuhr über lange Zeiträume ohne große Unterbrechungen sicherzustellen. Dennoch schlug sich die Arbeitszeit des Wartens – im Gegensatz zu den direkt an die Warenproduktion geknüpften Abläufen – nie sichtbar in produzierter Ware, Lohn und Brot nieder. Es war daher üblich, dass die Belegschaft vornehmlich dann Wartungsarbeiten über-

nahm, wenn zwischen den Produktionsgängen gerade Zeit dafür blieb. Verstaubte, von Spinnenweben und Mottennestern besetzte, quietschende Maschinen im Inneren, die »sicher seit Monaten kein Öl gesehen [hatten]« (Müllermeister H. 1928: 188), gehörten ebenso zum gewohnten Erscheinungsbild einer um 1900 verbreiteten Kleinanlage wie zur Wasserseite der Kraftstation hin die verzogenen und morschen Wasserräder, die mit gelösten Keilen und »herausgefalte[n] Bolzen« allmählich »ihrem Verfall entgegengingen« (Asael 1929: 136). Die langwierigen Wartungsarbeiten, etwa das Imprägnieren der hydraulischen Antriebstechnik oder die Säuberung des Stauteichs, zögerten die Anlagenbetreiber oft sogar so lange hinaus, bis gar nichts mehr lief – es also zum weiter unten behandelten Stillstand kam (Joosten 1996: 171; Theißen 2001: 161).

In den wenigen turbinengetriebenen Großanlagen, die die Unterläufe der Hauptströme wie Ruhr und Wupper besiedelten, waren zum selben Zeitpunkt bereits aus den Produktionsabläufen ausgegliederte Arbeitskräfte mit den regelmäßigen Überprüfungs- und Korrekturarbeiten an der Gesamtanlage beauftragt. Im Elektrizitätswerk Kräwinklerbrücke, das an einer Fluss Schleife der Wupper gelegen war, stieg am Ende des 19. Jahrhunderts vor dem Start der Betriebsabläufe ein geschulter Turbinenwärter, mit Ölkanne und Fetteimer ausgestattet, in die Turbinenkammer hinab, um Turbinenüberholungen vorzunehmen. Der Turbinenwart, der in nur wenigen Quellen begrifflich erfasst wird, zog im Zuge dieser morgendlichen Prüfroutine Schrauben der Maschinenteile fest, stellte die Ventile und Stopfbuchsen ein und füllte Schmiermittel nach (Klingenberg 1929: 562).² Gerade das Beschmieren der Turbinenlager mit »zweckentsprechenden« Ölen musste der Wärter mit »größte[r] Sorgfalt« durchführen, um ein durch Reibung ausgelöstes Warmlaufen der Turbinen und Generatoren zu verhindern, das langfristige Betriebsschäden nach sich ziehen konnte (Müller 1905: 237-239). Während der Betriebszeiten überprüfte der Turbinenwart die technischen Bauteile oberhalb des Wasserspiegels. Er imprägnierte einzelne Maschinenteile mit Petroleum, tauschte bei Bedarf Dichtungen aus und passte den Zufluss des Betriebswassers an die wechselnden Pegelstände an, indem er Sperrschleuse und Turbineneinlauf mithilfe einer Handkurbel regulierte (Müller 1922: 190). In Kleinbetrieben war diese Berufsgruppe nur unter bestimmten Voraussetzungen anzutreffen, so etwa in kleinen Elektrizitätswerken, die sich an einem Bachlauf in einer Kraftwerkskaskade aneinanderreihen. Hier lohnte sich der Einsatz eines Turbinenwarts, wenn dieser im Auftrag eines Stromanbieters Anlage für Anlage zügig nacheinander »abwa(r)ten« konnte (Kyser 1923: 420).

2 Detailliert nachgezeichnet wird dieser tägliche Wartungsaufwand einer turbinengetriebenen Großanlage in dem Dokumentationsfilm MITTELEUROPA – WASSERKRAFTWERK IN KRÄWINKLERBRÜCKE AN DER WUPPER (Dokumentation, D 1970), zugänglich auf: <https://av.tib.eu/media/12341> (zuletzt abgerufen 15.03.2017).

WARTUNG IM JAHRESZEITLICHEN RHYTHMUS

Das saisonale Instandhalten während der warmen Jahreszeit

Die jahreszeitliche Folge der Witterungs- und Abflussbedingungen strukturierte und diktierte wesentlich mit, welche Ausbesserungs- und Reparaturarbeiten am Technikensemble Wasserkraftanlage wann und mit welchen technischen Hilfsmitteln durchgeführt wurden. Mit dem Eintritt in die wärmere Jahreszeit stellten sich an den energiewirtschaftlich intensiv genutzten Wasserläufen der Region Wartungsaufgaben, die erst als Folge der voranschreitenden technischen Überformung der Flusslandschaften auf die Agenda der Wasserrad- und Turbinenbetreiber gerückt waren. Die wasserbaulichen Eingriffe veränderten mit der Zeit die natürlichen Gewässerdynamiken wie auch die ökologischen Zusammenhänge am Fließgewässer. Die vielen Staustufen unterbrachen nicht nur die Sedimentführung, sie reduzierten auch die Wasserturbulenzen, sodass in vielen Stauteichen seeähnliche Bedingungen vorherrschten (Fischer 1891: 155f.). Die steigenden Temperaturen der Frühjahreszeit stimulierten an den bezähmten und lichtdurchfluteten Wasserflächen den Pflanzenbewuchs. Regelmäßig beklagten Anlagenbetreiber um 1900 die pflanzlichen Auswüchse im Stauteich bzw. den »Befall« ihrer Antriebstechniken mit »Wasserpest« (König 1899: 230; Gilhaus 1995: 72).³ Zeitgleich regte die einsetzende Wärme in den tieferen sauerstoffarmen Teichzonen die Produktion von Faulschlamm an, die die Wasserkraftanlagen »verschlamm[t]en« und zur sukzessiven Verlandung des Grabenbetts beitrugen (Anonymus 1907: 425).

Die Ufer der oftmals mehrere hundert Meter langen Zuleitungsgräben von pflanzlichen Wucherungen freizuhalten und die voluminösen Stauteiche von Störungen wie Schlamm und Wasserpflanzen zu befreien, war zeitaufwendig und mühselig. Gleichzeitig waren reibungslose Funktionsabläufe an den kleinen Wasserkraftanlagen der Region gerade zu dieser Jahreszeit von größter Bedeutung. Die Schneeschmelze hatte an den Bächen und Flüssen der Mittelgebirge im Frühjahr hohe Wasserstände zur Folge, die den Metallfabrikanten kontinuierliche Produktionsabläufe in Aussicht stellten. Stauten sich allerdings Blätter, Äste oder Gras vor dem Rechen, konnte dies die Leistung der Antriebsmaschine empfindlich herabsetzen. Die frühjährliche Reinigung des Grabenbettes rentierte sich aber auch auf lange Sicht: Ein verlandeter Stauteich engte die Möglichkeiten der Energieausbeute in den folgenden Sommermonaten extrem ein – gerade dann, wenn ohnehin wenig Wasser floss. Außerdem neigte der »tiefe und in Ordnung gehaltene« Stauteich im nächsten Winter weniger stark zum Eisansatz (Klür 1894: 252).

In dem Fachblatt *Die Mühle* berichteten in den Jahrzehnten um 1900 zahlreiche Artikel und Forenbeiträge über Wartungskniffe aus der Praxis und gaben Rat-

3 Vgl. Anonymus (1895): Frage Nr. 201 »Bagger«, in: *Die Mühle* 32, Sp. 424.

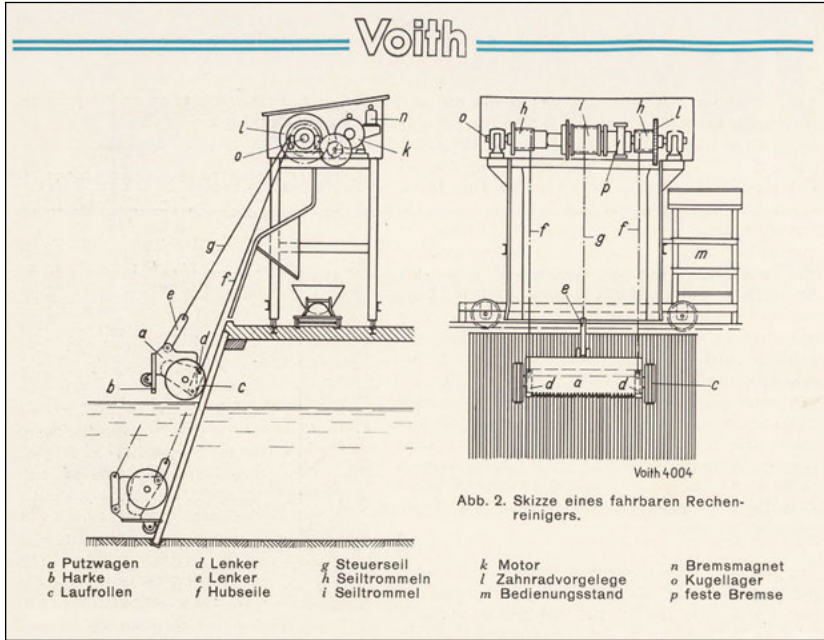


Abb. 2. Skizze eines fahrbaren Rechenreinigers.

Abb. 4a: Der fahrbare Rechenreiniger der Firma Voith. Der Putzwagen fuhr den Rechen in vertikaler Richtung ab und entleerte die aus dem Wasserlauf gezogenen Anschwemmungen über einen Kippmechanismus in den Entsorgungsbehälter.

schläge im Umgang mit der Entkrautungs- und Verschlammungsproblematik der warmen Jahreszeit. Beispielsweise präsentierten Mechaniker und Mühlenbauer in den Frühjahrs-Ausgaben dieser Zeitschriften ein breites Sortiment unterschiedlicher Verfahren und Technikvarianten zur Reinhaltung und Wartung der Antriebsmaschinen und wasserbaulichen Strukturen: Die vorgeschlagenen Wartungshilfsmittel reichten von »Räumern« oder »Baggermaschinen« zur Entschlammung von Gräben und Teich bis hin zu »Wucherpflanzen-Mähmaschinen« oder »Krautungsmessern«, mit denen die Wasseroberfläche gesäubert wurde (Fischer 1893: 40 u. 56; Jacobjohn 1905: 4f.; Pieper 1905: 970 u. 991; Rieder 1907: 202). Wie es ein Mül-lermeister namens Grune betonte, ließen sich solche »Wasserreinigungsapparate« zumeist leicht in Eigenregie konstruieren (Müllermeister Grune 1896: 53).

Etwa zeitgleich priesen auf den Vertrieb von Wasserkrafttechnik spezialisierte Maschinenfabriken auch die ersten »selbsttätigen« oder »fahrbaren« Rechenrei-niger zum Verkauf an (Anonymus 1915: 92, 113 u. 128). Skizze und Werbephoto-graphie auf den Abbildungen 4a und 4b setzen die Funktion eines solchen mechani-schen Rechenreinigers ins Bild, den die Maschinenfabrik Voith aus Heidenheim in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts zum Verkauf anbot: Bei diesem Modell setzte der Wärter mithilfe einer Handkurbel einen »Putzwagen« in Bewegung, der den Rechen in vertikaler Richtung abfuhr und die aufgesammelten Zweige, Steine

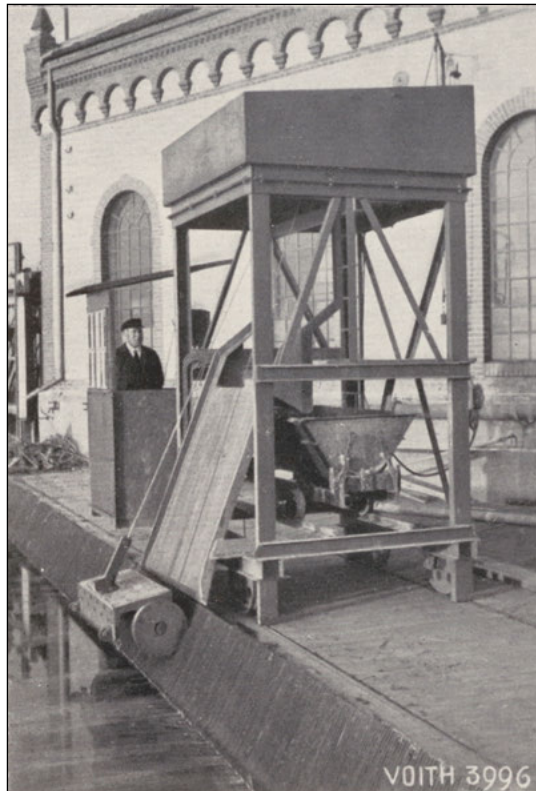


Abb. 4b: Photographie des Rechenreinigers der Firma Voith aus dem Jahr 1938.

und Blätter anschließend in einen Entsorgungsbehälter entleerte (Baudisch 1928: 777; Voith 1938). Wenngleich solche fahrbaren Rechenreinigungsmaschinen die aufzubringende Zeit und Arbeitskraft des Wartens reduzierten, dürfte die Anschaffung die finanziellen Mittel des kleinen Mühlenbesitzers deutlich überstiegen haben. Die manuelle Reinigung der Stauteiche mit Harken blieb zumindest noch bis zum Übergang ins 20. Jahrhundert »die allgemein übliche und [...] auch billigste« Form der alljährlich einsetzenden Entkrautungs- und Entschlammungsarbeiten in Frühjahr und Sommer.⁴

Die meisten Anlagenbetreiber gingen der Entkrautung und Entschlammung schon deshalb im Frühjahr nach, weil der sommerliche Wasserzufluss in der Regel nicht mehr ausreichte, um die bei der Reinigung aufgewirbelten organischen Über-

4 Vgl. Anonymus (1906c): »Frage wegen Auskrautung der eutrophierten Mühlteiche und -gräben«, in: Die Mühle 43, Sp. 570 u. 592; Anonymus (1906d): Antwort Nr. 466 »Rechenreinigung«, in: Die Mühle 43, Sp. 691; siehe auch: Ludin 1913: 1240f.

reste mit der natürlichen Fließkraft wegzuspülen. Aber auch die trockenen Sommermonate hatten in den jahreszeitlichen Wartungs- und ReparaturROUTINEN ihren festen Platz. Wie es ein Wassermühlenbesitzer um 1900 pointiert herausstrich, wurden größere Schäden und Defekte »in jeder Mühle jährlich einmal« behoben, nämlich in der hierfür »günstige[n] Zeit« der sommerlichen Trockenphase (Anonymus 1899: 93).⁵ Während dieser konnten die hydraulischen Maschinen in Folge von Wassermangel nur »sporadisch« oder »höchstens einige Stunden am Tag« betrieben werden, wie es Fabrikbesitzer im Raum Hemer an der Lenne Mitte des 19. Jahrhunderts beklagten (zit.n. Stopsack 2003: 83f.). Waren trockene Sommer aus betriebswirtschaftlicher Sicht ein Ärgernis, ermöglichten sie es aber auch, mit neuen Wartungsgerätschaften zu experimentieren; zudem wurden die Maschinenteile und Wasserbauten auf die »raue Jahreszeit« vorbereitet. An heißen Sommertagen ließ sich beispielsweise das Wasserrad leicht abtrocknen, um es anschließend von Ablagerungen zu befreien und vorsorglich zu präparieren, nämlich mit den entsprechenden Konservierungsmitteln zu beizen (Anonymus 1899: 93). Nun bestrich der Wasserradbetreiber die Holzteile mit Teer oder dem Steinkohlenteer-Öl Karbolineum und armierte die eisernen Maschinenelemente mit Graphit, der Rostschutzgrundierung Mennige oder mit Rotguss.⁶ Mithilfe dieser Schutzanstriche waren die Bestandteile des Technikensembles nicht nur »leichter rein zu halten«; sie schützten ebenso vor Korrosionsprozessen und sollten das Abschlagen des Eises im Winter erleichtern (Anonymus 1892: 215; Albrecht 1929: 135).

Das saisonale Instandhalten während der »rauen Jahreszeit«

Die stürmischen Herbst- und eisigen Wintermonate forderten das Technikensemble Wasserkraftanlage weit stärker heraus als die warme Jahreszeit. Die nun hereinbrechenden Flutwellen, Kälteeinbrüche und Eisgänge schlugen sich vor allem im Alpenraum besonders heftig nieder (Landry 2015). In den oberen Verästelungen der Mittelgebirgsflüsse stellten die geringen Abflussmengen der wasserarmen Quellrinnsale aber selbst bei größeren Herbststürmen vergleichsweise »geringe Anforderungen an die Widerstandsfähigkeit der Bauwerke«, wie es der Bauinspektor Adolf Ludin ausführte (Ludin 1919: 146). Hier erwies sich die Anlage einer raumgreifenden Wasserleit- und Speicherinfrastruktur eher als ein probates Mittel, den geringen Wasserzufluss optimal regulieren und energiewirtschaftlich verwenden zu können.

5 Im Alpengebiet dürften sich diese Tätigkeiten in den Spätsommer und Frühherbst verlagert haben, da die vom Gletscherwasser gespeisten alpinen Wasserläufe erst im Hochsommer ihren Höchststand erreichten; vgl. Landry 2013: 21.

6 Vgl. Anonymus (1881): Frage Nr. 182 »Karbolineum«, in: Die Mühle 18, Sp. 32; Anonymus (1906a): Antwort Nr. 151 »Roßschutz«, in: Die Mühle 31, Sp. 570. Zur Verwendung dieser Schutzanstriche in der Region vgl. Siuts 2002: 350.

An den wasserreichen Unterläufen waren robuste Wasserbaukonstruktionen hingegen ungleich wichtiger. Stiegen in der regenreichen Herbstzeit die Wasserpegel an, musste der Betreiber einer Wasserkraftanlage schnell reagieren und die Einlaufschütze am Obergraben schließen, um die mit der Strömung mitgetragene Steine und Baumstämme über das Wehr abzuleiten (Stahlschmidt 1975: 138). Doch schon die Fließkraft des Wasserlaufs konnte an der Kraftstation großen Schaden anrichten, wenn sie die hölzernen Fundamente der Regulierungs- und Speichertechnik derart unterspülte, dass das Grundwerk der Zuleitungsgräben und Stauenteiche absackte und das Wasser über die Ufer trat. Dieses rief wiederum Konflikte mit den Anrainern hervor, die sich über die Versumpfung ihrer Kulturlächen beschwerten (Gudermann 2003).

Die Störung oder der Ausfall eines einzelnen Elements stellte nicht selten die Funktionalität des gesamten Technikensembles in Frage. Als über die unteren Flussabschnitte der Wupper und Lenne in den Herbstmonaten der Jahre um 1890 in regelmäßiger Folge Hochwasserfluten hineinbrachen, führten die dadurch zerstörten Wehre bei zahlreichen Wasserkraftanlagen zu wochenlangen Betriebsstillständen. Die Wassermassen hatten »ganze Werksanlagen [...] in einer Nacht niedergerissen« (Intze 1888: 1050). Wie es der Ingenieur Albert Schmidt aus Lennep in seiner zeitgenössischen Flussbiographie der Wupper beschrieb, sahen sich die ortsansässigen Fabrikanten im Nachgang dieser Flutfolge durch die »fortwährenden Reparaturen« veranlasst, die Wasserbauten sukzessive »solider zu gestalten« (Schmidt 1913: 72 u. 78f.). Die Anlagenbetreiber pflasterten Uferböschungen mit Bruchsteinen, kleideten ihre Grabensysteme mit Steinplatten aus und verstärkten die hölzernen Wehrprofile durch Betonfundamente, sodass die wasserbaulichen Strukturen ohne größere Reparaturen »mehrere Menschenalter« überstehen konnten (Anonymus 1929: 190).

In den Wintermonaten forderten Eis und Kälte die Funktionsabläufe an jeder Wasserkraftanlage heraus: Der Turbinenanwender hatte in erster Linie mit dem von der Gewässersohle hochwachsenden Grundeis zu kämpfen, das die tief im Wasser eingesenkte Antriebstechnik als erstes erreichte; der Wasserradbetreiber wiederum musste viel eher Vereisungen infolge kalter Windzüge befürchten, die der zumeist freistehenden und träge rotierenden Radkonstruktion zusetzten (Quantz 1907: 101). Allgemeingültige Grundsätze im Umgang mit der winterlichen Kälte existierten an den wenigsten Wasserläufen. Die Betreiber von Wasserkraftanlagen entwickelten über die Jahrhunderte unterschiedliche Strategien und technische Verfahren, um diese schonend durch die kalte Jahreszeit zu bringen. Bereits die Standortwahl beeinflusste die winterlichen Wartungsanforderungen maßgeblich, da es »in Gegenden mit rauhem Klima« und an Flachlandflüssen, die sich durch freies Feld schlängelten, deutlich schneller zu Frost und Eisbildung kam als an Wasserläufen in wärmeren Moor- oder Waldgebieten (Barth 1922: 108).

In den Quellen um 1900 ist vermehrt von der sogenannten Radstube die Rede, womit ein das Wasserrad schützender Holzverschlag gemeint ist (vgl. Abb. 5). Beim Herannahen der »rauen Jahreszeit« galt es, dessen Ritzen und Öffnungen »luft-



Abb. 5: Radstube mit einem eingebauten Wasserrad der Wassermühle Luhn in Heven bei Witten, um 1930.

dicht« abzuschließen, sollte der Eisansatz im Radhaus vermieden werden (Holzherr 1894: 53; Müller 1922: 191; Ellbracht 1970: 22). Fiel die Temperatur in diesem Schutzhaus immer noch unter den Gefrierpunkt, so wurde möglicherweise ein alter Ofen aufgestellt, wie es der Wasserbautüftler Friedrich Schaupp empfahl: Löcher in seinem Abzugsrohr sorgten dafür, dass Wärme an das Wasserrad gelangte (Schaupp 1929: 104). Bei geeigneter Standortwahl gelang es auch manch einem Anlagenbetreiber, die Antriebstechnik mit dem Heißwasser artesischer Quellen zu berieseln (Schmidt 1994: 473f.; Switalski 2005: 38). Befolgte der Wasserradbetreiber diese »kleinen aber praktisch erprobten Winke«, so der Mühlenbesitzer Oskar Klür, könne ein »Einfrieren in größerem Umfange [...] überhaupt nicht vorkommen« (Klür 1894: 252).

Trotz dieser technischen Maßnahmen und Verfahren zog ein unerwarteter, plötzlicher Kälteeinbruch einen mit dem vorhandenen Personal kaum zu bewältigenden Wartungsaufwand nach sich (Barth 1922: 108). Quasi über Nacht konnte die winterliche Wartung zu den intensivsten, kräfteaubendsten und auch gefährlichsten Abläufen am Technikensemble Wasserkraftanlage avancieren: Dann waren zusätzliche Hilfskräfte – die sogenannten Eiswachen – »tage- und wochenlang [...] ununterbrochen Tag und Nacht« im Einsatz, um die Zuleitungsgräben, Stauteiche



Abb. 6: Eiswächter beim »Picken«, wie das Entfernen von Eisanhäufungen an Wasserkraftanlagen in den Quellen bezeichnet wurde.

und Rechen vor dem Zufrieren zu bewahren (Karlsson/Werner 1927/28: 279). Es galt die Vereisung dieser Infrastrukturkomponenten zu verhindern, deren Störung einen langfristigen Betriebsstillstand nach sich ziehen würde.

In den Nächten nahmen die Eiswachen stündlich Temperaturmessungen vor und leiteten angeschwemmte Eisschollen über die Überläufe ab, »was große Mühe und auch eine gewisse Sorgfalt erfordert[e]« (Freitag 1927/28). Sie spritzten sich vor dem Rechen aufstapelnde Eismengen mit warmem Wasser ab oder schöpften diese unter großer körperlicher Anstrengung mit Kübeln heraus. Wie auf Abbildung 6 deutlich wird, blieben einfache Werkzeuge die Allzweckwaffe der winterlichen Eiswachen. Mit Harken, Schiebestangen und Sägen kratzten und sägten sie Vereisungen ab oder zerschlugen sie mit dem Holzhammer – und zwar vorrangig dort, wo sich bei strenger Kälte besonders schnell Eis ansetzte: am Stauteich, in dem die geringe winterliche Fließkraft das Zufrieren beschleunigte, vor dem Rechen und am Aufschlagspunkt des Wassers auf dem Wasserrad (Leiner 1925: 233). Diese Wartungsarbeiten kamen teils halsbrecherischen Manövern gleich und hatten nicht selten Betriebsunfälle zur Folge, etwa wenn ein Arbeiter am vereisten Uferand ausrutschte, weil sich die »zerharkte« Eisscholle plötzlich bewegte oder sich das Rad, in das der Wasserradbetreiber zum Abschlagen des Eises hineingeklettert war, plötzlich doch zu drehen begann, wie es ein Artikel von 1930 auflistete (Anonymus 1930: 1213f.).

Wurden die Komponenten des Technikensembles in Anpassung an die saisonalen Bedingungen Jahr für Jahr instand gehalten, so machte sich dieser Einsatz

in der Regel auf »längere Dauer bezahlt« (Müller 1905: 240). Denn nur bei »sachverständiger Wartung« konnte sich der Anlagenbetreiber »einen bleibenden Wert« schaffen, dessen »Lebensdauer [...] eine relativ große ist« (Federmann 1924: 27). So hielt es der Wasserkraftingenieur Paul Federmann einige Jahre nach dem Ersten Weltkrieg fest, als die Reaktivierung aufgelassener Wassermühlen aus Mangel an fossilen Energiequellen eine gewisse Bedeutung wiedererlangte. Die enorm lange Lebensdauer zeigte sich auch im Fall des bereits erwähnten Kraftwerks Kräwinklerbrücke. Als man dieses um 1900 von einer Tuchfabrik zu einer Elektrizitätszentrale umrüstete, setzten die baulichen Maßnahmen allein an der Modernisierung des Maschinenparks an; die auf den Beginn des 18. Jahrhunderts zurückgehenden wasserbaulichen Strukturen hingegen wurden nach wenigen Verstärkungen und Ausbesserungen bis weit ins 20. Jahrhundert hinein weiterverwendet (Laufen 1972: 160 u. 163). Auch andernorts lassen sich zahlreiche Beispiele für Wasserkraftanlagen finden, die über lange Zeiträume – was meist Jahrhunderte und nicht nur Jahrzehnte meinte – eine bunte Folge unterschiedlicher Besitzverhältnisse und Anwendungsformen durchlebten, bei denen aber stets die einmal angelegten wasserbaulichen Strukturen das funktionelle Rückgrat stellten – vorausgesetzt, diese wurden entsprechend gepflegt und gewartet (Stopsack 2003; Prott 2012; Kupper/Pallua 2016).

REPARIEREN BEI STILLSTAND

Flickarbeiten am Wasserrad

Der Durchfluss von Grundeis, Sedimenten oder Überresten wie abgemähtes Gras, Laub, Treibholz, Küchenabfälle oder auch säurehaltige Abwässer forderten die Betriebsfähigkeit jeder Wasserkraftmaschine heraus. Gingen die Turbinen- oder Wasserradbetreiber den vorab skizzierten vorsorgenden Wartungsarbeiten nicht konsequent nach, konnten die mitgeschwemmten Einträge die betrieblichen Abläufe schnell zum Erliegen bringen. Ein solcher Totalstillstand des Kraftantriebs ging je nach standörtlichen Voraussetzungen mit einem höheren oder geringeren Reparaturaufwand einher, was die Wahl der geeigneten Antriebstechnik entscheidend beeinflusste.

In abseitigen Gegenden mit weit zurückreichender Wasserkrafttradition, wo oftmals zudem die Wege zur nächsten Turbinenbaufirma weit, wichtige Werkstoffe und das fachliche Know-how des lokalen Wasserradexperten jedoch in unmittelbarer Nähe zugänglich waren, hielten Besitzer kleiner Wasserkraftanlagen bis weit ins 20. Jahrhundert hinein an ihren alten Antriebsmaschinen fest, zumal Wasserräder tendenziell leichter im Eigenbetrieb zu pflegen waren. Dieses traf beispielsweise auf die Seitentäler in den Einzugsgebieten der Wupper und Ruhr zu, in denen »keine ordentliche Straße [sic] den Werken entlangführte«, weshalb die Servicedienste

der in den Industriezentren angesiedelten Turbinenfabriken nur schwer zu erreichen und Lieferwege für maschinengefertigte Ersatzteile umständlich waren (Schmidt 1913: 83).

In Regionen mit derart schlechter Verkehrsanbindungen war es wichtig, dass sich Reparaturen am in Konstruktion wie Funktionsweise leicht durchschaubaren Wasserrad »ohne umständliche und meist kostspielige Zuziehung von Maschinenfabriken von einheimischen Arbeitern selbst vornehmen« ließen (Beyrich 1898: 1; Burgmeyer 1925: 8f.). Oftmals konnte ein handwerklich erfahrener Wasserradbetreiber im Schadensfall selbst Hand anlegen, indem er defekte Radschaufeln austauschte; oder aber er konnte an der offenliegenden Mechanik zumindest die Ursachen der betrieblichen Störungen diagnostizieren und präzise beschreiben und dann kurzerhand die notwendigen Reparatur Schritte einleiten (Müller 1906: 18).

In den traditionellen Gewerbelandschaften mit Wasserkraftnutzung hatten sich im Laufe der Frühen Neuzeit aus dem klassischen Anlagen-, Wasserrad- und Getriebebau eigene Reparaturberufe ausdifferenziert. Nachdem in den südwestfälischen Mittelgebirgen im Laufe des 19. Jahrhunderts kaum mehr von Wasserrädern angetriebene Kleinanlagen neu gebaut wurden, avancierte die Wartung und Instandsetzung der bestehenden Wasserantriebe mehr und mehr vom Nebenzweig zum zentralen Aufgabenfeld der handwerklich ausgebildeten Mühlenbauer und Mühlenärzte. Im Unterschied zum Mühlenbauer, der Anlagen und Anlagenelemente konstruierte sowie in der eigenen, stationären Werkstätte auch immer reparierte, führten die Mühlenärzte ihr Reparaturhandwerk ambulant aus, indem sie mit vorgefertigten Holz- und Eisenteilen von Anlage zu Anlage zogen, um die »Flickarbeiten« am stillstehenden Wasserrad vor Ort durchzuführen (Dempp 1860: 378). Mühlenärzte und Mühlenbauer, wie z.B. der Mühlenbauer Ebinghaus am Brink, hatten in dieser wasserreichen Mittelgebirgsregion bis weit ins 20. Jahrhundert hinein eine dominante Rolle inne, wenn es zum Totalausfall von Wasserrädern gekommen war, bei dem Wasserradbetreiber zumeist auf externe Expertise zurückgriffen (Blum 1968: 562; Siuts 2002: 350). Daneben übernahmen aber auch Handwerker anderer Gewerbe im Nebenerwerb Wasserradreparaturen. Beispielsweise war das Handwerk des Mühlenbauers, der Kenntnisse in Holz- und feinmechanischer Eisenbearbeitung besaß, mit dem des Zimmermanns eng verwandt, der ebenso im Zusammenflicken defekter Wasserräder kundig war und im Schadensfall hölzerne Bauteile abschliiff, austauschte oder mit Beitel und Säge neu ausrichtete (Mende 1990: 148).⁷ Handelte es sich um Radkonstruktionen aus Eisen, wie sie zum Ende des 19. Jahrhunderts an immer mehr Wasserläufen Verbreitung fanden, fiel die Reparaturhilfe wiederum eher in die Zuständigkeit des örtlichen Schmieds oder

7 Derartige Ad-hoc-Reparaturen in Nebenerwerbs-Werkstätten waren auch im automobilen Reparaturwesen lange weit verbreitet: vgl. Krebs 2012: 187; Borg 2007 (»Chapter 2: Ad Hoc Mechanics«).

Schlossers, der aufgerissene Schaufelblätter übernetzte oder zusammenschweißte (Asael 1929: 136f.; Stahlschmidt 1975: 134).

Technisches Wissen und handwerkliche Fähigkeiten der fachkundigen Mühlenärzte und Mühlenbauer blieben für die Flickarbeiten an defekten Wasserrädern und Getrieben vor allem dort noch lange unverzichtbar, wo der traditionelle Werkstoff des Wasserradbaus – das Holz – in der unmittelbaren Umgebung in ausreichenden Mengen zugänglich war. Welch hohen Stellenwert die Wasserrad-Selbst-Reparatur in traditioneller Holzbauweise am abgelegenen Wasserlauf noch nach 1900 besaß, verdeutlicht das Beispiel der Metallfabrikanten am Hasperbach im märkischen Sauerland. Während viele Unternehmer zum Übergang ins 20. Jahrhundert auf Rad- oder Turbinenkonstruktionen aus robustem Eisen umgestiegen waren, drehten sich in den metallverarbeitenden Fabriken dieses Zuflusses der Ennepe (vgl. Abb. 1) noch in den 1920er Jahren Wasserräder mit hölzernen Schaufeln (Landesanstalt Gewässerkunde 1914: 180f.; Claas 1966: 56 u. 75f.). Wenn Steine oder Baumstämme eine dieser stark beanspruchten Holzschaufln beschädigten, ließ sich diese Sollbruchstelle des fragmentierten Wasserrades separat, schnell und im Rückgriff auf lokale Werkstoffe preiswert an Ort und Stelle auswechseln, ohne den Betrieb einstellen zu müssen. Der ›Technikstil‹, der am Hasperbach zur Ausprägung kam, macht deutlich, in welcher Weise das naturale Umfeld auf Anlagenbau wie auch Reparaturpraktiken zurückwirkte. Das technische Wissen und Können der an diesem Bachlauf angesiedelten Unternehmer stand den Kenntnissen der Wasserradbetreiber und Mühlenbauer benachbarter Flussgebiete in nichts nach. Es hatte allein praktische Gründe, dass die Metallfabrikanten am Hasperbach noch lange an ihren hölzernen Konstruktionsformen festhielten: Denn die stark beanspruchten hölzernen Bauteile waren am Wasserlauf mit erhöhter Geschiebeführung im Schadensfall einfacher und kostengünstiger zu reparieren.

Austausch an der Wasserturbine

Wie es die zeitgenössischen Wasserkraftexperten immer wieder bemerkten, konnten Einträge im Wasserlauf die Funktionalität der Wasserturbinen und Wasserräder unterschiedlich stark beeinträchtigen. Während Wasserrädern die im Bachbett mitgeführten Äste, Baumstämme oder Steine selten Schwierigkeiten bereiteten, wenn sie mit dem Oberflächenwasser durch die geräumigen Radkonstruktionen geschwemmt wurden, erwiesen sich kleine Wasserturbinen »mit ihren verhältnismäßig engen Kanälen und ihrem schmalen Spalt« weit anfälliger (Kettenbach 1922: 154). Sogar Vertreter der Turbinenbranche sahen in den kleinen Abmessungen der marktgängigen Standardkleinturbinen einen »erheblichen Nachteil«; schließlich sei es, wie Viktor Graf, Oberingenieur der Turbinenfabrik Briegleb, Hansen & Co., im Jahr 1917 festhielt, »in Fachkreisen genügend bekannt«, dass diese wegen ihrer gedrungenen Konstruktion auffallend häufig zu Verstopfungen neigten (Graf 1917: 204). Aus ähnlichen Gründen empfahl der Kölner Spezialist für Sägewerkstechnik,

Georg Braune, Betreibern kleiner Säge- und Mahlmühlen an solchen Bachläufen, die von dichten Laubwäldern umgeben waren, die Beibehaltung ihrer Wasserräder, da deren Wartungsaufwand bei stetem Laubantrieb weitaus geringer ausfiel (Braune 1901: 66).

Die »schwierige Durchführung etwaiger Reparaturen« galt lange Zeit als entscheidender Nachteil der Wasserturbinentechnik (Luther 1909: 28). Dieses betraf in erster Linie die Modelle der Schachtturbinen, die unter Wasser liefen, damit das einströmende Betriebswasser den Laufradkanal im vollen Umfang erfasste. Wenn die Rotation der Laufradblätter einer Turbine durch verkeilte Äste oder Steine blockiert wurde, musste diese vollständig auseinandergenommen werden. Dafür war sie zunächst trockenulegen, bis die Spezialisten der zuständigen Lieferfirma – wie auf Abbildung 7 beispielsweise die Monteure der Turbinenbaufirma Voith – in die Turbinenkammer hinabsteigen konnten, um dann die defekten Maschinenteile freizulegen und letztlich auszutauschen (Eisgruber 1951: 232). Weil selbst kleinste Korrekturarbeiten »in einem solchen dunklen, tiefen, nassen und engen Raume [...] doppelt schwierig vorzunehmen« waren, klagte ein Müller an der Saale Mitte der 1850er Jahre, hätten die Mahlgänge seiner turbinengetriebenen Wassermühle »drei Wochen lang« stillgestanden (Harzer 1851: 242f.). Versperrte die enge Turbinenkammer sogar den Zugang, musste die defekte Turbine mithilfe eines Flaschenzuges aufwendig herausgezogen werden, bevor die entsprechenden Reparaturschritte eingeleitet werden konnten (Müller 1905: 239). Deshalb warnten Turbinenspezialisten noch lange davor, die Antriebstechnik in kleinen und »schlecht beleuchteten Kammern aufzustellen«, in denen »allfällige Reparaturen« nur mit größerem Zeitverlust durchzuführen waren (Escher 1921: 342). In den ersten Dekaden des 20. Jahrhunderts trat dieser Nachteil in dem Maße in den Hintergrund, in dem die über Wasserniveau montierten Spiral- oder Freistrahlturbinen die im Wasser versenkten Schachtturbinen bei großen Gefälleunterschieden verdrängten. Beispielsweise waren Wasserturbinen nach den Modellen »Pelton« und »Ossberger« nicht mehr in der Turbinenkammer eingebaut, sondern in einem trockenen Raum zwischen Ober- und Unterwasser, sodass Korrektur- und Überprüfungsarbeiten »bequem und trocknen Fußes« möglich waren, wie es der Münchener Maschinenbauprofessor Rudolf Camerer festhielt (Camerer 1914: 401 u. 498).

In der Zwischenzeit hatte sich mit den Standardisierungs- und Normierungstendenzen, die den deutschen Turbinenbau um 1900 ergriffen, ein Faktor in den Vordergrund gespielt, der die Reparierbarkeit der Wasserturbinen auf eine andere Weise herausforderte, nämlich die komplexe Konstruktion dieser Technik. Die verbreiteten Kleinturbinen waren nicht nur gedrungen, sondern mit ihren automatisch verstellbaren Leit- und Laufradschaufeln auch weitaus komplexer konstruiert als Modelle früherer Turbinengenerationen. Darauf lässt nicht zuletzt ein Vergleich der in den Katalogen der Turbinenhersteller abgedruckten Ersatzteillisten schließen: Für eine der um 1900 üblichen Francis-Kleinturbinen zählte eine zeitgenössische Liste über 600 Ersatzteile; demgegenüber wurden dem Betreiber einer Girard- oder

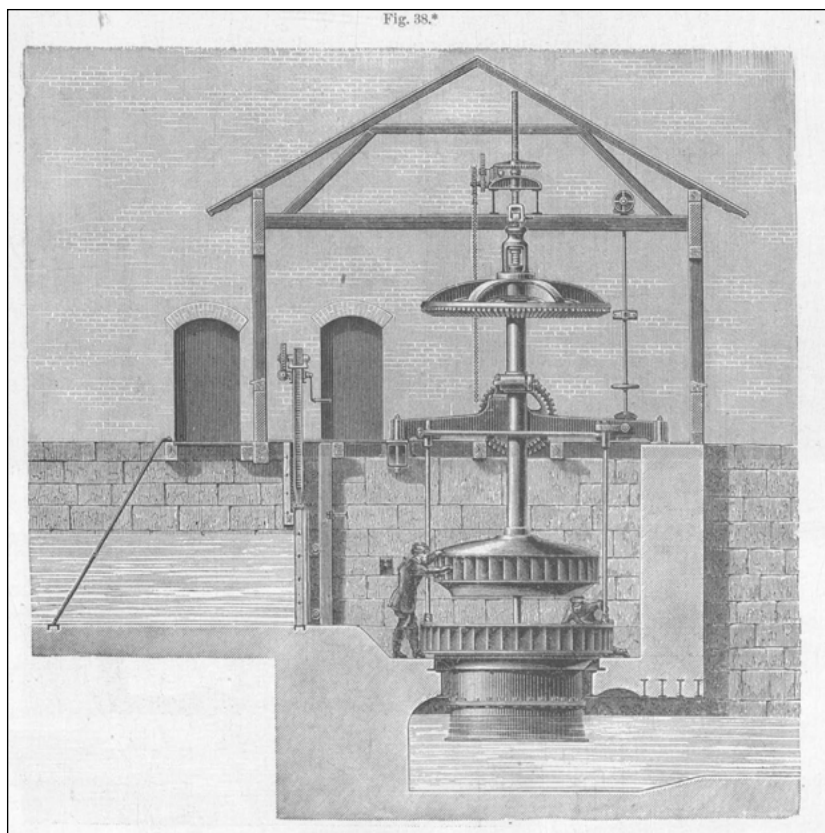


Abb. 7: Zwei Monteure der Turbinenbaufirma Voith aus Heidenheim bei Wartungs- oder Reparaturarbeiten an einer unter dem Wasserspiegel montierten Francis-Schachtturbine. Schon bei kleineren Reparaturen mussten diese Turbinen in viele Einzelteile zerlegt werden, damit die zuständigen Spezialisten an das Innere des Maschinengehäuses vordringen konnten.

Jonvalturbine, die noch in den 1870er Jahren zum Wasserturbinen-Standardreperoire gehört hatten, nicht mehr als 200 Ersatzteile zum Erwerb angeboten (Hoerde & Comp. 1876; Sundwiger Eisenhütte o.J.).

Für den Betreiber einer Wasserturbine hatte dies einen Verlust an Verstehbarkeit und allgemeiner Zugänglichkeit zu seiner Antriebstechnik zur Folge (Luhmann 1977). Versuche, selbst kleinste mechanische Probleme an einer defekten Turbinenanlage in Eigenregie zu beheben, scheiterten oft schon an der Demontage bzw. dem Wiederzusammensetzen der aus unzähligen Einzelteilen konstruierten Antriebsmaschine. Um die Fehlerdiagnose und folgende Reparaturschritte einleiten zu können, war die fachmännische Hilfe durch die Monteure der zuständigen Turbinenbaufirma bald schon unerlässlich. Was der Technikhistoriker Joachim

Radkau (2008) für andere Technikfelder beschrieb, lässt sich demnach auf die konstruktiv-technische Entfaltung der Wasserturbinen übertragen: Die »kompliziertere Konstruktion« der aus normierten Einzelteilen gefertigten Wasserturbine erforderte zunehmend komplexere Dienstleistungsstrukturen, um nicht nur den Vertrieb der Maschinen zu organisieren (Müller 1899: 5). Dazu gehörten auch spezifische Kundendienste, die die laufenden Wartungs- und Reparaturaufgaben an der Antriebstechnik übernehmen konnten (Radkau 2008: 64). Der Mühlenexperte Paul Mohr sprach vor diesem Hintergrund die Empfehlung aus, hauptsächlich Großbetriebe mit Turbinenantrieb auszustatten, da diese besser an die zentralen Verkehrsknotenpunkte angebunden waren und somit die Servicedienste der jeweiligen Maschinenfabrik gut erreichen konnten (Mohr 1899: 46).

Dort, wo die Anbindung an die entsprechende Montageinfrastruktur fehlte, war die Aufstellung marktgängiger Kleinturbinen entscheidend erschwert. Dies bezeugt etwa ein Bericht zur wirtschaftlichen Lage der Metallfabrikanten im Lennegebiet: Unter den wenigen Turbinenbetreibern an den kleinen Bächen Sorge es immer wieder für »große Verdrießlichkeiten«, wenn »unliebsame Betriebsstörungen« die Erwerbsarbeit nur deshalb lange zum Stillstand brachten, weil der Reparaturdienst des Turbinenherstellers schwer zu erreichen war (Dönneweg & Co. 1921: 309f.).

FAZIT

Die Technik- und Wissenschaftssoziologen Stephen Graham und Nigel Thrift haben die Praktiken des Reparierens und Wartens als »vitally parts of everyday life« beschrieben (Graham/Thrift 2007: 3). Auch die repetitiven Wartungsabfolgen und unvorhergesehenen Reparaturmomente, die bei der Nutzung der Energiequelle Wasser auftraten, bestimmten die Alltagshandlungen der Mühlenärzte, Turbinenwärter, Eiswachen und natürlich auch der Anlagenbetreiber um 1900 maßgeblich mit. Dies wird jedoch erst sichtbar, wenn die Analyse den Bereich der *technology-in-use* in den Vordergrund stellt, andere Quellen gegen den Strich liest und erstmals systematisch nach dem Warten und Reparieren im Feld der Wasserkrafttechnik fragt (Edgerton 2008: 78; siehe auch Krebs/Schabacher/Weber 2018, in diesem Band).

Die vorgeschlagene Kategorisierung legt drei Typen wasserkrafttechnischer Wartung und Reparatur frei, die sich hinsichtlich ihrer (jahres-)zeitlichen Abfolgen und der Intensität des Arbeitseinsatzes unterschieden: erstens der vorsorgende, tagtägliche Wartungsaufwand, zweitens Pflege- und Reparaturabläufe, die in saisonalen Zyklen erforderlich waren, drittens Instandsetzungen, die erst beim völligen Stillstand der Antriebstechnik anfielen. Sofern die Wehre, Zuleitungsgräben, Stauteiche und letztlich auch Antriebsmaschinen in je spezifischen Rhythmen ausgebaut und vor allem konsequent gewartet wurden, konnten diese Maßnahmen nicht nur dazu beitragen, größeren reparierenden Eingriffen infolge des Totalausfalls

vorzubeugen. Die immer wieder anfallende, präventive Pflege der Maschinenteile und Wasserbauten war eine entscheidende Tätigkeit, das Technikensemble Wasserkraftanlage über lange Zeiträume – und dies waren durchaus Jahrhunderte – funktionsfähig zu halten.

Gerade der letzte Typ, in dem es um den Totalausfall der Anlage geht, verdeutlicht diesen engen Zusammenhang zwischen Reparaturaufwand und Technologiewahl am Wasserlauf. Dort wo der Betreiber einer Kleinanlage die Pflege der Wasserturbine ökonomisch, technisch und logistisch nicht mehr in Eigenregie durchführen konnte, war die Wahl der geeigneten Antriebsmaschine auch nach 1900 noch lange nicht alternativlos zugunsten der moderneren Technik zu entscheiden. Im Gegenteil konnte der hohe Wartungs- und Reparaturaufwand, den der Einsatz einer Wasserturbine am entlegenen Wasserlauf mit sich brachte, sogar der Grund dafür sein, dass der Anlagenbetreiber seine an die lokalen Einsatzbedingungen bereits angepasste Technik weiternutzte. Es wurden zwei strukturell unterschiedliche, aber zeitgleich relevante Kulturen des Reparierens und Wartens im Feld der Wasserkrafttechnik deutlich, die mit spezifischen Wartungs- und Reparaturanforderungen einerseits der Wasserrad- und andererseits der Turbinentechnik zuzuordnen sind. In den (Groß-)Betrieben mit Turbinenantrieb war es zum Übergang ins 20. Jahrhundert zur professionellen Ausdifferenzierung spezialisierter Berufsberufe gekommen. Vereinzelt kamen hier bereits automatisch arbeitende Rechenreinigungsmaschinen zum Einsatz, um den Wartungsaufwand zu minimieren. Demgegenüber wurde die Wartung der Maschinenteile und Wasserbauten in den meisten Kleinanlagen noch immer von der Stammebelegschaft mit einfachen Werkzeugen ausgeführt. An handwerkliche Traditionen und standörtliche Verhältnisse gebundene Kenntnisse – ein *tacit knowledge*, das in den Quellen selten systematisch ausgeführt wird – blieben unter bestimmten Voraussetzungen noch lange integrierter Bestandteil einer ländlichen Kulturtechnik, um die Lebensdauer traditioneller hydraulischer Anlagen über zahlreiche Besitzer-Generationen hinweg zu verlängern. Im Gegensatz dazu brach der Übergang zur normierten Wasserturbine, wie sie an größeren Strömen mit kontinuierlichem Wasserzufluss und in Nähe der Industriezentren zum Einsatz kam, mit diesem lokal verankerten Technik- und Praxiswissen zugunsten von ingenieurwissenschaftlich-industriellem Wissen (Zumbrägel 2014). Die Installation dieser komplexen Maschine stellte neue Wartungs- und Reparaturanforderungen, die auf industriellem Austausch- und Ersatzteilbau, externen Kompetenzen und neuen Wartungsinfrastrukturen basierten, etwa den Servicediensten größerer Maschinenfabriken.

Die Technikhistoriographie verweist bis heute auf die Vorteile einer »reparaturfreundlichen« industriellen Austausch- gegenüber einer arbeitsintensiven vorindustriellen Anpassungsreparatur: Nun konnte der Anlagenbetreiber normierte Einzelteile »mit wenigen Handgriffen« eigenständig austauschen und musste »nicht mehr zum Dorfschmied«, um die defekte Technik individuell »durch Erhitzen, Nachschmieden und Abschleifen [...] wieder in Gang zu setzen« (Wengenroth 2015:

170f.). Gleichermaßen scheint es zum anerkannten Forschungskonsens zu gehören, den Wirkungsradius der klassischen Wasserkraftreparateure – der Mühlenbauer und Mühlenärzte – auf das vorindustrielle Wassermühlenwesen zu beschränken; sie seien mit dem Aufstieg des verwissenschaftlichten Maschinenbaus von einer neuen wasserkrafttechnischen Funktionselite – den Turbinen- und Wasserbauingenieuren – abgelöst worden (Layton 1990; Switalski 2005: 112). Jedoch bestanden alte und neue Techniken in diesem Energiefeld bis weit ins 20. Jahrhundert hinein nebeneinander. Weder wurden die traditionellen Wasserräder schnell von Turbinen verdrängt noch das daran gebundene handwerkliche Instandhalten und Instandsetzen der Wasserrad-Anlagen. Die etablierten Praxen des Wartens und Reparierens waren unter spezifischen – aber keineswegs seltenen – Standortvoraussetzungen sogar der Grund dafür, dass der Wasserradbetreiber seine Antriebstechnik nicht auf Antrieb modernisierte.

Eine differenziertere Rekonstruktion des technischen Wandels muss daher auch die standörtlichen Abhängigkeiten von Wartungs- und Reparaturprozessen beachten. Beispielsweise erwies sich die vermeintlich leichte Reparierbarkeit der Wasserturbine nicht überall als Vorteil. Mancherorts erschwerte ihr Wartungs- und Reparaturmodell die Verbreitung dieser modernen Antriebstechnik auf lange Sicht. An abseits der zentralen Verkehrsknotenpunkte und Industrieregionen liegenden Orten, wo die Aufstellung und Reparatur normierter Wasserturbinen schwierig und nicht mehr ohne Hilfe der Herstellerfirmen zu bewerkstelligen war, blieb die improvisatorische Flickarbeit am Technikensemble Wasserkraftanlage nicht nur ein Erfordernis, sondern die selbstverständliche Maßnahme, um die bestehenden Investitionsgüter möglichst lange weiter zu nutzen.⁸

Die Reparatureingriffe und Wartungskniffe, die Mühlenärzte, Turbinenwärter, Eiswachen und Fabrikanten um 1900 am Technikensemble Wasserkraftanlage vornahmen, unterlagen somit ebenso dem historischen Wandel wie die Konstruktion der technischen Artefakte selbst – und beide standen zudem in unmittelbarer Wechselwirkung: etwa wenn die standörtlichen Voraussetzungen dem Betreiber einer kleinen Wasserkraftanlage die Beibehaltung des alten Wasserrades nahelegten, weil dieses unter den Einsatzbedingungen vor Ort einfacher zu warten und zu reparieren war.

ARCHIVBESTÄNDE

Burgmeyer, Max (1925): Führungsvorträge, Kraftmaschinen, in: Archiv Deutsches Museum, Beste.-Br. 3961/1-6, S. 8-9.

8 Parallelen zieht Nicole Hesse für die Windkrafttechnik im 20. Jahrhundert (Hesse 2016).

LITERATUR

- Albrecht (1892): »Anstriche in Mühlen«, in: Die Mühle 29, Sp. 135.
- Anonymus (1881): Frage Nr. 182 »Karbolineum«, in: Die Mühle 18, Sp. 32.
- Anonymus (1892): »Zerfressene Wasserräder«, in: Die Mühle 29, Sp. 215.
- Anonymus (1895) Frage Nr. 201 »Bagger«, in: Die Mühle 32, Sp. 424.
- Anonymus (1899): »Eiserne Wasserräder«, in: Die Mühle 32, Sp. 92-93.
- Anonymus (1906a): Antwort Nr. 151 »Roßschutz«, in: Die Mühle 31, Sp. 570.
- Anonymus (1906b): Antwort Nr. 466 »Rechenreinigung«, in: Die Mühle 43, Sp. 691.
- Anonymus (1906c): »Frage wegen Auskrautung der eutrophierten Mühlteiche und -gräben«, in: Die Mühle 43, Sp. 570 u. 592.
- Anonymus (1907): »Flußreinigung auf Kosten der Müller«, in: Die Mühle 44, Sp. 425.
- Anonymus (1915): »Turbinenrechenreiniger«, in: Die Mühle 52, Sp. 92, 113 u. 128.
- Anonymus (1929): »Ältere und neuere Bauweisen des Mühlgrabens«, in: Die Mühle 66, Sp. 189-191.
- Anonymus (1930): »Maßnahmen zur Verhütung von Unfällen«, in: Die Mühle 67, Sp. 1213-1214.
- Asael, Walter (1929): »Das kranke Wasserrad«, in: Die Mühle 66, Sp. 136-137.
- Barth, Friedrich (1922): Die zweckmäßigste Betriebskraft, Bd. 2: Gas-, Wasser- und Wind-Kraft-Anlagen, Leipzig.
- Baudisch, Hermann (1928): »Selbsttätige Rechenreinigung«, in: Die Mühle 55, Sp. 777-779.
- Beyrich, F. (1898): Berechnung und Ausführung der Wasserräder. Elementare Einführung in die Theorie der Wasserräder mit erläuternden Rechnungsbeispielen, Berechnung und Ausführung der Wasserräder, Hildburghausen.
- Bleidick, Dietmar (2011): [Art.] »Wasserkraft«, in: Enzyklopädie der Neuzeit, Bd. 14, Stuttgart Sp. 690-705.
- Blum, Alfred (Hg.) (1968): Das 900jährige Kirchspiel Voerde und seine Umgebung. Bilder, Wappen und Geschichten. Ein Beitrag zur Besiedlungsgeschichte des westlichen Sauerlandes, Bd. 1, Ennepetal-Voerde.
- Borg, Kevin L. (2007): Auto Mechanics. Technology and Expertise in Twentieth-Century America, Baltimore.
- Braune, Georg (1901): Anlage, Einrichtung und Betrieb der Sägewerke, Berlin/Jena.
- Camerer, Rudolf (1914): Vorlesungen über Wasserkraftmaschinen, Leipzig/Berlin.
- Claas, Wilhelm (1966): Technische Kulturdenkmale im Bereich der ehemaligen Grafschaft Mark, Linnepe.
- Dempp, Carl W. (1860): Taschenbuch für angehende Maurer-, Steinmetz-, Zimmermeister, Mühlärzte, Bauhandwerker überhaupt, Werkmeister und Poliere, München.
- Dönneweg & Co. (1921): »Altena«, in: Albrecht Brinkmann (Hg.), Wirtschaftlicher Heimatführer für Westfalen, Düsseldorf, S. 309-310.

- Edgerton, David (2008): *The Shock of the Old. Technology and Global History since 1900*, London.
- Ehemann, G. Adolf (1893): *Bau und die Anwendung der verschiedenen Arten von Wassermotoren*, Leipzig.
- Eisgruber, Georg (1951): *Müllerei und Mühlenbau. Grundlagen zur Nachwuchserziehung*, München.
- Ellbracht, Theodor (1970): *Die Sprache der Drahtindustrie in der Grafschaft Mark*, Altena.
- Escher, Rudolf (1921): *Die Theorie der Wasserturbinen. Ein kurzes Lehrbuch*, Berlin.
- Evenenden, Matthew (2015): *Allied Power. Mobilizing Hydro-Electricity during Canada's Second World War*, Toronto.
- Federmann, Paul (1924): »Ausbau kleiner Wasserkräfte nach dem Kriege«, in: *Deutsche Wasserwirtschaft* 19, S. 27-30.
- Fischer, Ferdinand (1891): *Das Wasser, seine Verwendung, Reinigung und Beurteilung. Mit besonderer Berücksichtigung der gewerblichen Abwässer*, Berlin.
- Fischer, Paul (1893): »Baggermaschinen«, in: *Die Mühle* 30, Sp. 40 u. 56.
- Freytag, Theodor (1927/28): »Eisschwierigkeiten bei Wasserkraftanlagen und deren Abwehr«, in: *Wasserkraft-Jahrbuch* 3, S. 260-271.
- Gilhaus, Ulrike (1995): »Schmerzenskinder der Industrie«. *Umweltverschmutzung, Umweltpolitik und sozialer Protest im Industriezeitalter in Westfalen 1845-1914*, Paderborn.
- Graf, Viktor (1917): »Fortschritte im Bau kleiner Wasserkraftanlagen«, in: *Zeitschrift für das gesamte Turbinenwesen* 14, S. 181-187; 197-198; 204-205 u. 214-215.
- Graham, Stephen/Thrift, Nigel (2007): »Out of Order: Understanding Repair and Maintenance«, in: *Theory, Culture & Society* 24 (3), S. 1-25.
- Gudermann, Rita (2003): »Wasserschätze« und »Wasser-Diebereien«. *Konflikte zwischen Müllern und Bauern im Prozess der Agrarmodernisierung im 19. Jahrhundert*«, in: *Archiv für Sozialgeschichte* 43, S. 19-38.
- Harzer, Friedrich (1851): *Die Turbinen oder horizontalen Wasserräder als Kraft- oder Trieb-Maschinen für Mühlen, Fabriken, Berg- und Hüttenwerke*, Weimar.
- Henne, Heinrich (1903): *Die Wasserräder und Turbinen. Ihre Berechnung und Konstruktion. Elementares Lehrbuch für Techniker, Mühlenbauer, Fabrikanten und zum Gebrauch in Maschinenbau-Fachschulen*, Leipzig.
- Hesse, Nicole (2016): »Windwerkerei. Praktiken der Windenergienutzung in der frühen deutschen Umweltbewegung«, in: *Technikgeschichte* 83 (2), S. 125-150.
- Hoerde & Comp. (Hg.) (1876): *Illustrierter Catalog mit Preis-Verzeichniss über Maschinen, Wasser-Motoren und Bedarfs-Artikel für Mühlen*, Wien.
- Holzherr, Karl (1894): »Verhinderung der Eisbildung in Wasserradstuben und Turbinenkammern«, in: *Die Mühle* 31, Sp. 53-54.

- Intze, Otto (1888): »Ueber Verhütung von Wasserschäden und Ausnutzung von Wasserkräften«, in: Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure 32, S. 1049-1053 u. 1070-1074.
- Jacobjohn, Alexander (1905): »Vorrichtung zum Auskrauten von Mühlgräben usw.«, in: Die Mühle 42, Sp. 4-5.
- Joosten, Hans-Dirk (1996): Mühlen und Müller im Siegerland. Mit einem Verzeichnis der Wasserkraftanlagen dieser Region, Münster 1996.
- Kammerer, Fritz (1926): »Technisches und Wirtschaftliches von Kleinwasserkräften«, in: Zeitschrift des Bayerischen Revisions-Vereins 30, S. 104-107 u. 113-115.
- Karlsson, Werner/Werner, Paul W. (1927/28): »Eisbeseitigung bei Kanälen und Stauwerken«, in: Wasserkraft-Jahrbuch 3, S. 274-282.
- Kettenbach, Friedrich (1922): Müllerei und Mühlenbau, Abt. I: Der Müller und der Mühlenbauer, Leipzig.
- Klingenberg, Georg (1929): Bau großer Elektrizitätswerke, Berlin.
- Klür, Oskar (1894): »Verhinderung der Eisbildung in Wasserradstuben und Turbinenkammern«, in: Die Mühle 31, Sp. 251-252.
- König, Josef (1899): Die Verunreinigung der Gewässer, deren schädliche Folgen sowie die Reinigung von Trink- und Schmutzwasser, Bd. 2, 2. Aufl., Berlin.
- Krebs, Stefan (2012): »Notschrei eines Automobilisten« oder die Herausbildung des Kfz-Handwerks in Deutschland«, in: Technikgeschichte 79 (3), S. 185-206.
- Krebs, Stefan (2017): »Memories of a Dying Industry. Sense and Identity in a British Paper Mill«, in: The Senses and Society 12 (1), 35-52.
- Krebs, Stefan/Schabacher, Gabriele/Weber, Heike (2018): »Kulturen des Reparierens und die Lebensdauer der Dinge«, in: dies. (Hg.), Kulturen des Reparierens. Dinge – Wissen – Praktiken, Bielefeld, S. 9-46.
- Kupper, Patrick/Pallua, Irene (2016): Energieregime in der Schweiz seit 1800, Bern.
- Kyser, Herbert (1923): Die elektrische Kraftübertragung, Berlin.
- Legendijk, Vincent (2015): »Europe's Rhine Power. Connections, Borders, and Flows«, in: Water History 8, S. 23-39.
- Landesanstalt für Gewässerkunde und Hauptnivelements (1914): Karte der Wasserkräfte des Berg- und Hügellandes in Preussen und benachbarten Staatsgebieten, Berlin.
- Landry, Marc (2013): Europe's Battery. The Making of The Alpine Energy Landscape, 1870-1955. Unveröffentlichtes Manuskript an der Faculty of the Graduate School of Arts and Sciences, Georgetown University, Washington.
- Landry, Marc (2015): »Environmental Consequences of the Peace. The Great War, Dammed Lakes, and Hydraulic History in the Eastern Alps«, in: Environmental History 20 (3), S. 422-448.
- Laufen, Richard (1972): »Das Wasserkraftwerk Kräwinklerbrücke an der Wupper. Entstehung und erste Betriebserfahrungen«, in: Technikgeschichte 39, S. 159-166.

- Laufen, Richard (1974): Elektrifizierung einer bergischen Wasserkraft am Ende des 19. Jahrhunderts, Düsseldorf.
- Layton, Edwin T. (1990): »James B. Francis and the Rise of Scientific Technology«, in: Carroll W. Pursell (Hg.), *Technology in America. A History of Individuals and Ideas*, Cambridge, MA, S. 92-105.
- Leiner, Dr. (1925): »Die Bekämpfung der Eisströmung bei Wasserkraftbetrieben«, in: *Die Technik in der Landwirtschaft* 6, S. 232-234.
- Lindqvist, Svante (1994): »Changes in the Technological Landscape. The Temporal Dimension in the Growth and Decline of Large Technological Systems«, in: Ove Granstrand (Hg.), *Economics of Technology*, Amsterdam, S. 271-288.
- Ludin, Adolf (1913): *Die Wasserkräfte, ihr Ausbau und ihre wirtschaftliche Ausnutzung. Ein technisch-wirtschaftliches Lehr- und Handbuch*, Bd. 2, Berlin.
- Ludin, Adolf (1919): »Kleinwasserkräfte. Technische und wirtschaftliche Richtlinien für ihren Ausbau und ihre Ausnutzung«, in: *Zeitschrift für die gesamte Wasserwirtschaft* 14, S. 146-149.
- Luhmann, Niklas (1977): »Differentiation of Society«, in: *Canadian Journal of Sociology* 2 (1), S. 29-53.
- Luther, Gerhard (1909): *Die technische und wirtschaftliche Entwicklung des deutschen Mühlengewerbes im 19. Jahrhundert*, Leipzig.
- Mende, Michael (1990): »Wasserkraftmaschinen im 19. Jahrhundert. Die Emanzipation vom britischen Vorbild im Übergang vom Wasserrad zur Turbine«, in: Akos Paulinyi/Ulrich Wengenroth/Volker Benad-Wagenhoff (Hg.), *Emanzipation des kontinentaleuropäischen Maschinenbaus vom britischen Vorbild*, Darmstadt, S. 131-154.
- Mohr, Paul (1899): *Die Entwicklung des Großbetriebes in der Getreidemüllerei Deutschlands*, Berlin.
- Möser, Kurt (2012): »Thesen zum Pflegen und Reparieren in den Automobilkulturen am Beispiel der DDR«, in: *Technikgeschichte* 79 (3), S. 207-226.
- Müller, Friedrich C. (1788): *Situations-Charte vom Fabrickendistrikte im Hochgericht Schwelm*, Berlin.
- Müller, Wilhelm (1899): *Die Eisernen Wasserräder*, Leipzig.
- Müller, Wilhelm (1905): *Die Francis-Turbinen und die Entwicklung des modernen Turbinenbaues in Deutschland, der Schweiz, Österreich-Ungarn, Italien, Frankreich, England, Skandinavien und Nord-Amerika*, Hannover.
- Müller, Wilhelm (1906): *Wasserkraft. Elementare Einführung in den Bau und die Anwendung der Wasserräder und Turbinen*, Hannover.
- Müller, Wilhelm (1922): »Von der Wasser-Kraftmaschine«, in: *Der deutsche Mühlenbauer* 1, S. 190-191.
- Müller, Wilhelm (1939): *Die Wasserräder. Berechnung, Konstruktion und Wirkungsgrad*, 2. Aufl., Leipzig.
- Müllermeister Grune (1896): »Maschinen zum Ausrotten von Wasserpflanzen«, in: *Die Mühle* 33, Sp. 16 u. 53.

- Müllermeister H. (1928): »Schmierung und Holzarbeit in kleinen und mittleren Mühlen«, in: Die Mühle 65, Sp. 188.
- Pieper, Adolph (1905): »Teichverkrautung«, in: Die Mühle 42, Sp. 970 u. 991.
- Pritchard, Sara B. (2014): »Toward an Environmental History of Technology«, in: Andrew C. Isenberg (Hg.), The Oxford Handbook of Environmental History, Oxford, S. 227-258.
- Pritchard, Sara B./Zeller, Thomas (2010): »The Nature of Industrialization«, in: Martin Reuss/Stephen H. Cutcliffe (Hg.), The Illusory Boundary. Environment and Technology in History, Charlottesville, S. 69-100.
- Prott, Stefan (2012): »Gewässer, Wasserwirtschaft und Elektrifizierung im ehemaligen Herzogtum Westfalen (1800-2000)«, in: Harm Klueting (Hg.), Das Herzogtum Westfalen, Bd. 2: Das ehemalige kurkölnische Herzogtum Westfalen, Münster, S. 643-689.
- Quantz, Ludwig (1907): Wasserkraftmaschinen. Ein Leitfaden zur Einführung im Bau und Berechnung moderner Wasserkraft-Maschinen und -Anlagen, Berlin/Heidelberg.
- Radkau, Joachim (2008): Technik in Deutschland. Vom 18. Jahrhundert bis heute, Frankfurt/M.
- Redtenbacher, Ferdinand (1858): Theorie und Bau der Wasser-Räder, Mannheim.
- Reith, Reinhold (2011): Umweltgeschichte der Frühen Neuzeit, München.
- Reith, Reinhold/Stöger, Georg (2012): »Einleitung. Reparieren – oder die Lebensdauer der Gebrauchsgüter«, in: Technikgeschichte 79 (3), S. 173-184.
- Rieder, F. (1907): »Reinigungsvorrichtung für Mühlgräben, Flußläufe usw.«, in: Die Mühle 44, Sp. 202.
- Russell, Edmund/Allison, James/Finger, Thomas/Brown, John K./Balogh, Brian/Carlson, Bernard W. (2011): »The Nature of Power. Synthesizing the History of Technology and Environmental History«, in: Technology and Culture 52 (2), S. 246-259.
- Schabacher, Gabriele (2013): »Medium Infrastruktur. Trajektorien soziotechnischer Netzwerke in der ANT«, in: Zeitschrift für Medien- und Kulturforschung 2013 (2), S. 129-148.
- Schaupp, Friedrich (1929): »Eisfreie Wasserradstuben«, in: Die Mühle 66, Sp. 104.
- Scherm, Michael (2009): Kleine und mittelständische Betriebe in unternehmerischen Netzwerken. Die Reidemeister auf der Vollme im vor- und frühindustriellen Metallgewerbe der Grafschaft Mark, Stuttgart.
- Schmidt, Albert (1913): Die Wupper, Lennep.
- Schmidt, Frieder (1994): Von der Mühle zur Fabrik. Die Geschichte der Papierherstellung in der württembergischen und badischen Frühindustrialisierung, Mannheim.
- Schmidt-Stölting, Hans (1930): Das Problem des Ausbaues der deutschen Wasserkräfte, Berlin.

- Siuts, Hinrich (2002): Bäuerliche und handwerkliche Arbeitsgeräte in Westfalen. Die alten Geräte der Landwirtschaft und des Landhandwerks 1890-1930, Münster.
- Stahlschmidt, Rainer (1975): Der Weg der Drahtzieherei zur modernen Industrie. Technik und Betriebsorganisation eines westdeutschen Industriezweiges 1900 bis 1940, Altena.
- Stopsack, Hans-Hermann (2003): Vom Wasserrad zur Fabrik. Zur Wirtschafts-, Industrie- und Sozialgeschichte des Raumes Hemer von den Anfängen bis zum Ersten Weltkrieg, Hemer.
- Sundwiger Eisenhütte. Maschinenbau-Actien-Gesellschaft i. Westfalen (Hg.) (o.J., ca. 1900-1910): Wasserkraft-Anlagen.
- Switalski, Martina (2005): Landmüller und Industrialisierung. Sozialgeschichte fränkischer Mühlen im 19. Jahrhundert, Münster.
- Theißen, Peter (2001): Mühlen im Münsterland. Der Einsatz von Wasser- und Windmühlen im Oberstift Münster vom Ausgang des Mittelalters bis zur Säkularisation (1803), Münster/New York.
- Tomkins, C.R. (1892): »Wasserkraft oder Dampfkraft«, in: Die Mühle 31, Sp. 212-214.
- Voith, Maschinenfabriken J.M. (1938): Fahrbare Rechenreiniger, Heidenheim.
- Wagenbreth, Otfried (1994): Mühlen. Geschichte der Getreidemühlen. Technische Denkmale in Mittel- und Ostdeutschland, Leipzig/Stuttgart.
- Weber, Heike (2014): »Entschaffen«. Reste und das Ausrangieren, Zerlegen und Beseitigen des Gemachten (Einleitung)«, in: Technikgeschichte 81 (1), S. 1-32.
- Wengenroth, Ulrich (2015): Technik der Moderne – Ein Vorschlag zu ihrem Verständnis. Unveröffentlichtes Manuskript, Version 1.0, München.
- Zumbrägel, Christian (2014): »Gleichzeitigkeit des Ungleich(zeitig)en – Wissensformen der (Klein)wasserkraft im 19. und frühen 20. Jahrhundert«, in: Ferrum – Nachrichten aus der Eisenbibliothek 86, S. 47-56.
- Zumbrägel, Christian (2018): »Viele Wenige machen ein Viel« – Eine Technik- und Umweltgeschichte der Kleinwasserkraft (1880-1930), Paderborn.

FILME

- MITTELEUROPA, RHEINLAND – WASSERKRAFTWERK IN KRÄWINKLERBRÜCKE AN DER WUPPER (Dokumentation, D 1970, Autor: Richard Laufen, IWF-Signatur E 1775), zugänglich auf: <https://av.tib.eu/media/12341> (zuletzt abgerufen 15.03.2017).

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abb. 1: Ausschnitt aus: Müller, Friedrich C. (1788): Situations-Charte vom Fabrickendistrikte im Hochgericht Schwelm, Berlin (Kupferstich, aquarelliert, von Georg J. Frentzel). Mit freundlicher Genehmigung vom Kreisarchiv des Märkischen Kreises.

Abb. 2: Eigene Zeichnung.

Abb. 3: Eigene Zeichnung nach Vorlage: Wagenbreth 1994: 90f.

Abb. 4: Voith 1938: o.S.

Abb. 5: Wassermühle Luhn in Heven (Witten), ca. 1930. Mit freundlicher Genehmigung vom LWL-Medienzentrum für Westfalen (Archivnummer: 01-3078).

Abb. 6: Camerer 1914: 16.

Abb. 7: Braune 1901: 62.