

GEOLOGIE • UMWELT • ROHSTOFFE • BAUGRUND



JENA-GEOS®-Ingenieurbüro GmbH · Saalbahnhofstraße 25 c · 07743 Jena

Fachbeiträge
der
JENA-GEOS®
Nº 3/2022

JG	HAFEMANN, J.: Prüfung zur Machbarkeit einer Kleinwasserkraftanlage in der Ortslage Schweina/ Bad Liebenstein (Thüringen) - JENA-GEOS, Fachbeiträge, Jg. 2022, Band 3	2022/11
----	--	---------

Fachbereich Wirtschaftsingenieurwesen – Studiengang Umwelttechnik

Bachelorarbeit

vorgelegt von

Name: Hafemann

Vorname: Jakob

Matrikelnr.: 644743

interner Betreuer: Prof. Dr. Matthias Schirmer

externer Betreuer: Dr. Kersten Roselt (Jena-GEOS® Ingenieurbüro GmbH)

Thema/Titel: **Prüfung zur Machbarkeit einer Kleinwasserkraftanlage in der Ortslage
Schweina/ Bad Liebenstein (Thüringen)**

Ort, Datum

Unterschrift des Verfassers

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	1
I. Abbildungsverzeichnis	2
II. Tabellenverzeichnis.....	3
III. Abkürzungsverzeichnis.....	4
Danksagung	4
Ehrenwörtliche Erklärung und Einverständniserklärung	4
1 Einleitung	5
1.1 Aufgabenstellung & Zielsetzung	5
1.2 Aufbau der Arbeit	6
2 Geschichte zur Technologie der Wasserkraft	7
3 Technologien der heutigen Wasserkraft	9
3.1 Vergleich moderner und traditioneller Technologien zur Nutzung von Wasserkraft 10	
3.1.1 Turbinen	13
3.1.2 Wasserräder	16
3.1.3 Wasserkraftschnecken	19
3.1.4 Neue Entwicklungen.....	20
4 Genehmigungsrecht.....	21
4.1 Gesetze	22
4.1.1 EU-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL)	22
4.1.2 Wasserhaushaltsgesetz (WHG) und Thüringer Wassergesetz (ThürWG)	23
4.1.3 Mindestwasserregelung.....	24
4.2 Antragsunterlagen	24
4.3 Fischschutzeinrichtungen und ökologische Durchgängigkeit	24
4.4 Exkurs: Zielkonflikt Klimaschutz und Biodiversität	26
5 Best-Practice Beispiel „Wasser zu Licht“ am Steinbach	26
6 Kleinwasserkraft in Schweina (Thür.)	28
6.1 Standortauswahl.....	28
6.1.1 Alte Mühlenstandorte in Schweina.....	29
6.1.2 Durchflussmenge Q	31
6.1.3 Exkurs: Klimawandel und die Auswirkungen auf die Wasserkraftnutzung	32
6.1.4 Fallhöhe H	34

6.2	Potenzial und Nutzungsmöglichkeiten	37
6.2.1	Ermittlung des Gesamtwirkungsgrad η_{ges}	37
6.2.2	Festlegung der Maximal- und Minimalfälle	38
6.2.3	Nutzungsmöglichkeiten und Autarkiegrad.....	39
7	Wirtschaftlichkeitsanalyse nach VDI 2067	40
7.1	Kostenermittlung und Annuität.....	40
7.2	Stromgestehungskosten	44
7.3	Fördermöglichkeiten	45
8	Fazit & Empfehlung.....	46
9	Quellenverzeichnis.....	47
Anhang A	Karte zum Quartier „Schweina“ (Bad Liebenstein, Thür.) mit ehemaligen Mühlenstandorten	i
Anhang B	Schüttungsmessung von 1984 mit Auswertung der Messreihe „Schweina/Schweina“	ii
Anhang C	Persönliche Mitteilungen mit Anhängen	xviii
Anhang D	Lageplan der Oschmannschen Papiermühle (Buchholz, 2013).....	I
Anhang E	Beispielrechnung zum Maximal- und Minimalfall.....	lii

I. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Darstellung eines oberschlächtigen Wasserrads aus dem 14. Jhd. (Gleisberg, 1972, S. 152).....	8
Abbildung 2:	Muscheldiagramme: a) Pelton-Turbine $n_q = 16,3 \text{ min}^{-1}$; b) Francis-Langsamläufer $n_q = 23 \text{ min}^{-1}$; c) Francis-Schnellläufer $n_q = 90 \text{ min}^{-1}$; d) Kaplan-Turbine $n_q = 160 \text{ min}^{-1}$ (Giesecke et al., 2014).....	11
Abbildung 3:	Einsatzbereiche der unterschiedlichen hydraulischen Strömungsmaschinen in Abhängigkeit der Fallhöhe h_f und des Durchflusses Q (Giesecke et al., 2014, S. 534)	12
Abbildung 4:	Wasserkraftwerke. a) Niederdruckanlage im Seitenkanal mit Francisturbine; b) Niederdruckanlage im Fluss mit Kaplananlage; c) Hochdruckanlage an einer Talsperre mit Francisturbine; d) Hochdruckanlage im Gebirge mit Peltonanlage. OW Oberwasser, UW Unterwasser, WS Wasserschloss, H_{stat} statische Fallhöhe (Thamsen, 2020, S. 215–224).....	14
Abbildung 5:	Francis-Turbine der ehem. Messerfabrik in Schweina (eigenes Foto vom 21.07.2022)	15
Abbildung 6:	Verlauf des Wirkungsgrades verschiedener Wasserturbinen und des Wasserrads in Abhängigkeit der Beaufschlagung Q/Q_{max} , $Q =$ Durchflußmenge bei Teilöffnung, $Q_{max} =$ maximale Durchflussmenge (Pálffy, 2014)	16

Abbildung 7: Einteilung der Wasserräder nach Höhenlage des Wassereintritts, a) unterschlächtiges Wasserrad, b) mittelschlächtiges Wasserrad und c) oberflächliches Wasserrad (Giesecke et al., 2014, S. 630)	17
Abbildung 8: Schematische Darstellung einer Wasserkraftschnecke (Heimerl, 2015).....	19
Abbildung 9: Grundschemata für die rechtliche Behandlung der Wasserkraftnutzung (Giesecke et al., 2014, S. 102).....	22
Abbildung 10: Darstellung des Zusammenhanges zwischen Gefälle, Gewässerbreite und Fließgewässerzonierung zur Bestimmung der Leitfischregion	25
Abbildung 11: Wasserkraftanlage am Grumbach in Bad Liebenstein, OT Steinbach (Thür.), links das Mutterbett des Baches, rechts das oberflächliche Wasserrad mit Gerinne und Maschinenhaus (eigenes Foto vom 21.07.2022)	27
Abbildung 12: Jahresganglinie der Schweina (blau; in l/s) mittels der Schüttungsmessung von 1984 und Werra (grau; in m ³ /s) mittels Pegeldata der Hochwassernachrichtenzentrale Thüringen vom Standort Breitungen (HNZ Thüringen, 2021).....	32
Abbildung 13: Theoretische Leistung P_{theo} für die verschiedenen Durchflussmengen $Q_1 = 100$ l/s (blau); $Q_2 = 250$ l/s (orange) und $Q_3 = 500$ l/s (grau) in Abhängigkeit der Fallhöhe h (eigene Darstellung)	34
Abbildung 14: Oben: Kartenauszug zum Standort der Kobaltmühle mit Neigungsverlauf des Höhlenbachs; Unten: Foto vom Gefälle an der Kobaltmühle (eigenes Foto vom 02.09.2022)	36
Abbildung 15: Sankey-Diagramm des Wirkungsgrads einer WKA mit Wasserrad bei Normalbetrieb (eigene Darstellung)	38
Abbildung 16: Vergleich von Stromgestehungskosten und Vergütung nach EEG 2014 beim Neubau von Wasserkraftanlagen bezogen auf die installierte Leistung, Inbetriebnahme 2015 (Keuneke, 2015).	44

II. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Alte Mühlenstandorte in Bad Liebenstein, OT Schweina (Raddatz, 1995)	30
Tabelle 2: Minimal- und Maximalwerte der Durchflussmenge Q , der Fallhöhe H sowie den Volllaststunden t_v mit den resultierenden Werten für die elektrische Leistung P_{el} und der Jahresarbeit W_{el} ; Wirkungsgrad $\eta_{ges} = 0,59$	39
Tabelle 3: Investitionskosten möglicher Wasserkraftanlagen in Schweina; Maximalfall entspricht 100 %, der Minimalfall 50 % des Musterangebots der <i>Hydrowatt GmbH (Anhang C)</i> , Kosten für Netzanschluss nach WerraEnergie GmbH (2022)	43
Tabelle 4: Fördermöglichkeiten für Wasserkraftanlagen in Thüringen nach BMWK (2022c) .	45

III. Abkürzungsverzeichnis

DGM	–	digitales Geländemodell
FFH	–	Flora-Fauna-Habitat
GIS	–	Geoinformationssystem
Jhd.	–	Jahrhundert
PV	–	Photovoltaik
THG	–	Treibhausgas
WKA	–	Wasserkraftanlagen

Danksagung

Mein Dank gilt zuerst Dr. Kersten Roselt und Prof. Dr. Matthias Schirmer für die Ermöglichung und geduldige Betreuung dieser Arbeit. Nicht weniger dankbar bin ich meiner Familie und meinen Freund:innen, welche mir auch in schwierigen Zeiten beim Erstellen dieser Arbeit zur Seite standen. Selbstverständlich möchte ich mich ebenso bei den Bewohner:innen Schweinas, insbesondere beim Ortsteilbürgermeister Herrn Mieling und den Mühlenbesitzer:innen, für die freundliche Unterstützung bedanken. Zum Schluss gilt mein Dankeschön den zahlreichen kooperativen Personen in den Ämtern und Unternehmen des Wartburgkreises und Thüringens, ohne deren Informationen diese Arbeit nicht möglich gewesen wäre.

Vielen Dank!

Ehrenwörtliche Erklärung und Einverständniserklärung

Ich versichere, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig und ohne unerlaubte Hilfe Dritter verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet habe. Alle Stellen, die inhaltlich oder wörtlich aus Veröffentlichungen stammen, sind kenntlich gemacht. Diese Arbeit lag in der gleichen oder ähnlichen Weise noch keiner Prüfungsbehörde vor und wurde bisher noch nicht veröffentlicht. Hiermit erkläre ich mich mit der Einsichtnahme in meine Abschlussarbeit im Archiv der Bibliothek der EAH Jena einverstanden.

Jena, 20.10.2022

Ort, Datum

Unterschrift

1 Einleitung

Der voranschreitende, menschengemachte Klimawandel wird immer mehr auch im Globalen Norden spürbar. Während die Auswirkungen des Klimawandels lange fast ausschließlich im Globalen Süden durch steigende Meeresspiegel, Hitzewellen, Dürreperioden, Starkregenereignissen usw. erhebliche Folgen hatte, kommt es auch in Deutschland vermehrt zu Extremwetterereignissen. Ein Beispiel stellen die Überschwemmungen an der Ahr von 2021 dar, welche in diesem Jahr wiederum fast ausgetrocknet war (IPCC, 2022; Kreuzer et al., 2022; Schmid-Johannsen et al., 2021). In der EU hat Deutschland erhebliche Anteile an den seit 1990 wieder sinkenden Treibhausgas-Emissionen (THG-Emissionen) und trug 2020 alleine über 22 % zum Gesamtausstoß der EU bei (UBA, 2022). Auch bezogen auf die Bevölkerungszahlen liegt Deutschland mit 8,8 t CO_{2-eq}/Kopf über dem europäischen Durchschnitt. Die Auswirkungen der seit der industriellen Revolution immens gestiegenen THG-Emissionen verlangen nach einer schnellen Wende hinzu einer klimaneutralen Wirtschaft. Damit gehen diverse Maßnahmen hinsichtlich Klimaschutz und -anpassung einher, mit denen die EU eine Klimaneutralität bis 2050 erreichen will (EU KOM, 2019). Die Kategorie „Energie“ ist mit einem Anteil von 75 % (2020) der mit Abstand größte Emittent von Kohlendioxid-Äquivalenten vor den „Industrieprozessen“, der „Landwirtschaft“ und dem „Abfall“ (UBA, 2022). Um diese Emissionen weiterhin zu reduzieren ist eine Energiewende weg von den fossilen Energieträgern wie Öl, Kohle und Gas hin zu den erneuerbaren Energien notwendig. Hierzu gibt es eine große Bandbreite technologischer Ansätze zur Umwandlung der Energie aus Sonne, Geothermie, Biomasse, Wind und Wasser. Dabei spielen in der Umsetzung ökonomische und ökologische Gesichtspunkte immer eine maßgebliche Rolle.

Die Wasserkraft zählt neben der Windkraft zu den ältesten Energienutzungsformen der Menschheit und hat auch in Deutschland eine bis ins erste Jahrhundert (Jhd.) zurückreichende Historie. Sie galt vor der industriellen Revolution und der Erfindung von Motoren und Generatoren als „State of the Art“ für den Antrieb sämtlicher Maschinen. Heute ist das Potenzial der Wasserkraft zur Energiegewinnung in Deutschland weitestgehend ausgeschöpft und die Stromerzeugung daraus seit über 10 Jahren relativ konstant. Der Anteil, der durch Wasserkraftanlagen (WKA) erzeugte Energie am Bruttostromverbrauch lag 2021 mit rund 19,1 TWh bei 3,4 % (AGEE-Stat, 2022). Dabei sind 95 % der 8.300 WKAn Kleinwasserkraftanlagen, deren Nennleistung kleiner als 1 MW ist, welche wiederum 0,5 % zur Bruttostromerzeugung beitragen (BMU, 2021). Dennoch liegt das Zubaupotential für kleine WKAn laut einer Studie des BMU (2010) bei 1 TWh. Gerade in der aktuellen politischen und energiewirtschaftlichen Lage braucht es jede Kilowattstunde aus erneuerbaren Quellen, um unabhängig von Importen fossiler Energieträger zu werden. In diesem Sinne widmet sich auch die vorliegende Arbeit dem möglichen Potenzial einer Kleinwasserkraftanlage in einer Thüringer Ortschaft als ein Beitrag zur Energiewende in Deutschland.

1.1 Aufgabenstellung & Zielsetzung

Im Rahmen eines integrierten energetischen Quartierskonzeptes für den Ortsteil Schweina der Stadt Bad Liebenstein (Thüringen) kommt für den energieeffizienten und klimagerechten Umbau ein systemischer Ansatz zum Tragen.

In dieser Bachelorarbeit soll geprüft werden, inwiefern der Bach Schweina für eine WKA genutzt werden kann. Der Stadtverwaltung geht es nicht vordergründig um eine effiziente Energiegewinnung, sondern um eine pädagogisch und touristisch wirksame Anlage, die auf

die historischen Wurzeln des Ortes verweist. Ziel ist es also, das Potenzial zur Stromerzeugung aus Wasserkraft in Schweina zu ermitteln und auf eine Machbarkeit hinsichtlich Ökonomie und Ökologie zu bewerten. Die touristischen Auswirkungen und der pädagogische Wert einer möglichen Anlage sind dabei nicht Gegenstand dieser Arbeit.

1.2 Aufbau der Arbeit

Nach einem eben erfolgten Einstieg in die Relevanz der Thematik Wasserkraft soll ein Einblick in die Technikgeschichte (Kapitel 2) helfen, die Hintergründe dieser Art von Energiegewinnung zu verstehen und auf die Vielzahl heutiger zur Verfügung stehender Technologie vorbereiten. Um die heutigen Möglichkeiten der Wasserkraftnutzung soll es im darauffolgenden Kapitel 3 gehen. Hier werden neben einer möglichen Kategorisierung von WKAn insbesondere die verschiedenen Formen und Anwendungen der Laufräder beschrieben. Dabei werden nicht nur herkömmliche Turbinen und Wasserräder miteinander verglichen, sondern auch aufgezeigt, welche neuen Entwicklungen es in der Energieerzeugung aus Wasserkraft für geringe Wassermengen und niedrige Fallhöhen gibt.

Zur Beurteilung, welche der vorgestellten Technologien in Schweina Anwendung finden könnte, bedarf es einer ausführlichen Betrachtung des Genehmigungsverfahrens. Hierzu werden in Kapitel 4 die relevantesten Gesetze vorgestellt, die die Planung und den Betrieb einer WKA beeinflussen. Neben einer Übersicht zu den einzureichenden Antragsunterlagen findet sich darin auch die ökologische Perspektive auf die Wasserkraftnutzung wieder. Die hohe Anzahl der Querbauten, die im Rahmen vergangener Gewässerbewirtschaftung zur Schiffbarmachung und Wasserkraftnutzung installiert wurden, tragen weitreichende Konsequenzen für die ökologische Durchgängigkeit der Fließgewässer mit sich (AGEE-Stat, 2022; DWA-Landesverband Sachsen/Thüringen, 2011). Mit der EU-Wasserrahmenrichtlinie spiegelt sich der Paradigmenwechsel von einer ökonomischen zu einer ökologischen Gewässerbewirtschaftung wieder (UBA, 2016). Mit dem Beschluss der EU-Kommission im Jahr 2000, wurde sich das Ziel gesetzt, alle europäischen Gewässer wieder in einen guten ökologischen und chemischen Zustand zu bringen. Dies wird im Kapitel 4.1.1 eingehend erläutert. Fischschutzeinrichtungen und der Erhalt bzw. das Wiederherstellen der ökologischen Durchgängigkeit sind damit Pflicht für den Bau oder die Sanierung einer WKA. Der, ähnlich wie bei Windkraft, bestehende Zielkonflikt zwischen Klimaschutz und Biodiversität wird hierzu abschließend exkursartig beschrieben.

Bevor es konkret um die Standortauswahl und Potenzialermittlung in der Ortschaft Schweina geht, soll das Wasserrad-Projekt im Nachbarort Steinbach als Best-Practice Beispiel skizziert werden (Kapitel 5). Nach einer kurzen Vorstellung des Quartiers Schweina in Kapitel 6 werden anschließend die alten Mühlenstandorte betrachtet, da aus genehmigungsrechtlichen Gründen nur an diesen Orten eine WKA in Betrieb gehen könnte.

Die entscheidenden Eingangsparameter zur Bestimmung des Potenzials sind die Durchflussmenge Q (Kapitel 6.1.2) und die mögliche Fallhöhe H (Kapitel 6.1.4). Bezüglich der Durchflussmenge wird es hier einen weiteren Exkurs zu den Auswirkungen des Klimawandels auf die Wasserkraftnutzung geben.

Auf Grund des Mangels an Daten und Equipment (Strömungsmesser und Nivelliergerät) werden im Anschluss, auf Grundlage der vorher vermittelten Informationen zu Durchfluss und Fallhöhe, plausible Minimal- und Maximalwerte für weitere Berechnungen angenommen

werden. Daraus ergeben sich potenzielle Energieerträge, deren Nutzungsmöglichkeiten in Kapitel 6.2.3 eingehend Erläuterung finden.

Abschließend wird das Potenzial mit der Annuitätsmethode nach VDI 2067 ökonomisch eingeordnet und resultierende Stromgestehungskosten bewertet. Im darauffolgenden Fazit werden die Ergebnisse zusammengefasst und eine Empfehlung ausgesprochen. Des Weiteren soll ein Ausblick die Aspekte darlegen, bei denen perspektivisch weiter ins Detail gegangen werden muss, um eine Kleinwasserkraftanlage in Schweina zu realisieren.

2 Geschichte zur Technologie der Wasserkraft

Um je nach Standortgegebenheiten eine möglichst energieeffiziente und umweltverträgliche WKA bestimmen zu können, bedarf es eines Vergleichs möglicher Technologien. Im Folgenden soll durch den Blick in die Entwicklungsgeschichte von Wasserkrafttechnologien ein kontextualisierter Einstieg in die Thematik gelingen, vor dessen Hintergrund es die heutzutage gängigen Technologien zu betrachten gilt.

Mit dem Beginn der Sesshaftigkeit und der sog. „neolithischen Revolution“ zuerst 9500 v. Chr. im Fruchtbaren Halbmond Vorderasiens siedelten die Menschen in der Nähe von Gewässern, um erfolgreich den frisch erfundenen Ackerbau betreiben zu können (Reichholf, 2010). Als Ur-Technologie der Wasserkraft kann das Flussschöpfrad gesehen werden, welches es ermöglichte auch höher gelegene Felder zu bewässern (Zumbrägel, 2016). Erste Erwähnungen gehen bis 1500 Jahre v. Chr. zurück und fanden sich in der Region vom ägyptischen Nil oder stammen aus dem indischen Sanskrit. So setzt sich das sanskritische Wort für Flussschöpfrad *Araghatta* aus den Wörtern *ara* („Rad“) und *ghattam* („Topf“) zusammen und beschreibt die über Seile, an einem Rad angehängten Gefäße. Zunächst angetrieben durch Menschen oder Tiere wurde fortlaufend Wasser aus einem Fluss geschöpft, um auch höhergelegene Felder zu Bewässern und Siedlungen mit Wasser zu versorgen. Die Idee, dabei die Kraft des fließenden Wassers zu nutzen, entstand viel später (469 v. Chr. Mosaik Nationalmuseum Hama) durch die Erfindung sog. *Norias*. Das größte dieser Wasserschöpfräder hat einen Durchmesser von 27 m und befindet sich am Orontes im syrischen Hama.

Die Weiterentwicklung zur Wassermühle fand nach heutigem Kenntnisstand 25 v. Chr. durch den römischen Ingenieur Vitruv statt (Gleisberg, 1972, S. 145). Karl Marx bezeichnet Vitruvs Überlieferungen des 10. Buches der „*De Architectura*“ als „die elementarische Form aller Maschinerie“ (Karl Marx, 1867) und übernimmt die Dreiteilung der Maschinenelemente aus der französischen Maschinenlehre *École polytechnique* (1794) in *récepteur* = Antriebsmaschine, *transmission* = Übertragungsmechanismus und *opérateur* = Werkzeug- oder Arbeitsmaschine. So wurde nicht nur das Wasserrad aus dem Alten Orient übernommen, sondern auch das Zahnradwinkelgetriebe als Transmission der Kraft vom Menschen/Tier zum Wasserrad, nur das jetzt das Wasserrad den Antrieb darstellte (Gleisberg, 1972). Es dauerte weitere ca. 400 Jahre bis die Wassermühlen in einem Reisegedicht über die Mosel Erwähnung fanden und nördlich der Alpen gebaut wurden (Ausonius, 370). Neben dem Bau von Flussmühlen wurden zwischen dem 6. und 12. Jhd. weitere Spezifikationen wie bspw. an Stau-/ Schützenanlagen und Mahlgängen sowie Beutelwerken der Wassermühlen unternommen. Ab dem 9. Jhd. wurden die Mühlen nicht mehr nur zum Mahlen von Getreide genutzt, sondern fanden nun auch in zahlreichen anderen Produktionsbereichen Anwendung (Giesecke et al., 2014, S. 6). Sie blieben zumindest in Mitteleuropa dennoch bis ins 14. Jhd.

unterschlächting¹, vermutlich weil erst dann die bergigeren Regionen besiedelt wurden (Gleisberg, 1972). Die oberflächigen Wasserräder (Abbildung 1) kommen mit kleineren Wassermengen zurecht und erzielen deutlich höhere Wirkungsgrade. Bis ins 19. Jhd. blieb das Wasserrad als Antriebsmaschine nahezu unverändert, während sich Transmission und Arbeitsmaschinen stetig weiterentwickelten und die Müllerei und der Erzbergbau in stärker werdender, technischer Wechselbeziehung standen (Gleisberg, 1972, S. 154).

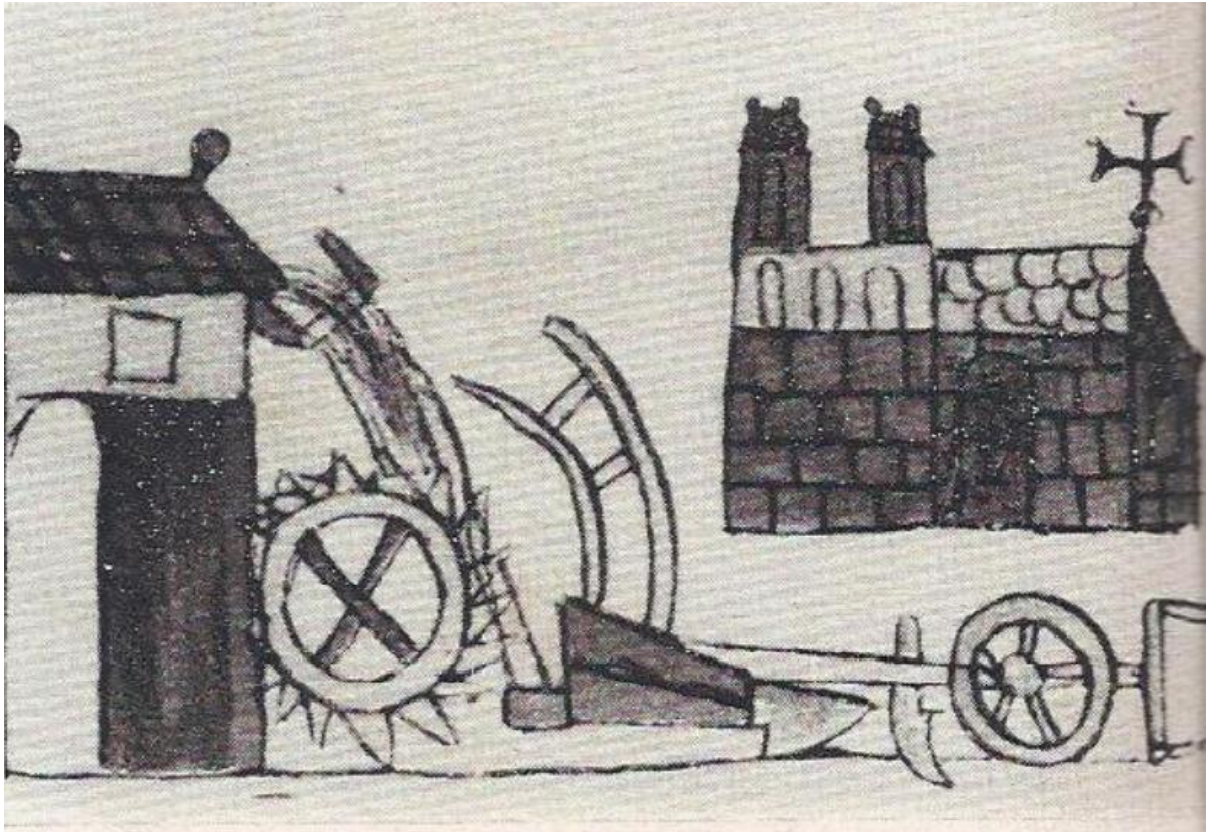


Abbildung 1: Darstellung eines oberflächigen Wasserrads aus dem 14. Jhd. (Gleisberg, 1972, S. 152)

Bevor es zur „Turbinisierung der weißen Kohle“ (Zumbrägel, 2018, S. 57–86) kommt, in dessen Folge die Wasserräder der Mühlen weitestgehend durch Turbinen ersetzt wurden, wurde die Technikgeschichte der Wasserkraft maßgeblich durch zeitgleiche Erfindungen beeinflusst. Mittels der Dampfmaschine sollten die Menschen unabhängig von Wasser und Wind als treibende Kräfte ihrer Maschinen werden. Schon in der Antike erkannten *Archimedes* und *Heron* die Kraft des Dampfes. Über *Papin*, *Savery* (1698), *Desaguliers*, *Newcomen* (1711) und schließlich *James Watt* (1769) erreichte die Dampfmaschine eine Effizienz, dass sie im großen Maßstab Anwendung fand. Während die Vorgänger lediglich zur Entwässerung von Bergwerken genutzt wurden und zum Betreiben große Mengen Brennstoff verbrauchten, konnte die *Watt'sche Dampfmaschine* jede Werkzeug- oder Arbeitsmaschine wirtschaftlich antreiben (Matschoss, 1901, S. 26–86). Mit der Erfindung des Generators 1866, sowie des Ottomotors 1876 und des Dieselmotor 1893 und der einhergehenden Elektrifizierung durch Tesla (Wechselstrom) und Edison (Gleichstrom) nahm die Industrialisierung Ende des 19. Jhd.

¹ Die Unterscheidung von Wasserrädern in unter-, mittel- und oberflächige Wasserräder erfolgt anhand des Eintrittspunktes des Wassers auf die Schaufeln des Wasserrads. Eine eingehendere Erläuterung folgt in Kapitel 3.1.2

weiter an Fahrt auf (Arnold, 1914; Hoppe, 1884; Laufen, 1984; Meinig, 2013). Die technischen Grundlagen, die Wasserkraft nicht mehr als direkten Antrieb, sondern zur Stromerzeugung zu verwenden, waren geschaffen.

Die erste funktionsfähige Turbine entwickelte der Franzose Fourneyron 1827. Diese kam 1832 zum ersten Mal in der Fabrik St. Blasien zum Einsatz (Die Acht mit Herz, 1987). Das Laufrad wurde durch die Aufteilung des Triebwassers von mehreren Seiten her angetrieben und hatte deutliche höhere Drehzahlen. Die Idee des „liegenden Wasserrads“ von Poncelet (1826) wurde durch die Amerikaner S.B. Howd (1838) und J.B. Francis (1849) weiterentwickelt (Gleisberg, 1972). Die *Francis-Turbine* findet bis heute in verschiedenen Bauweisen Anwendung. Über zahlreiche Weiterentwicklungen und Erfindungen von Turbinentypen sollen an dieser Stelle die *Pelton-* (1890) und *Kaplan-Turbine* (1913) genannt werden (Zumbrägel, 2016). Die Turbinen ersetzen weitestgehend die Wasserräder und ermöglichten die Nutzung größerer Fallhöhen und somit den Bau weitaus größerer Anlagen mit Staudämmen. Das größte Wasserkraftwerk der Welt befindet sich aktuell in China am Jangtsekiang. Zusammengenommen haben die 32 Turbinen des sog. Drei-Schluchten-Staudamms eine Nennleistung von 22,5 GW (FAZ, 2015). Für den Bau der über 180 m hohen Staumauer, welche den Fluss zu einem ca. 1,6 km breiten und rund 660 km langen See anstaut, mussten 1,4 Millionen Menschen umgesiedelt werden (FAZ, 2015; Hühn, 2021).

Detaillierter beschrieben werden die unterschiedlichen Formen und Anwendungen der Laufräder (Turbinen und Wasserräder) in den Kapiteln 3.1.1 bis 3.1.3.

3 Technologien der heutigen Wasserkraft

Die Möglichkeiten zur Energiegewinnung aus Wasserkraft sind vielfältig. Eine Klassifizierung kann nach unterschiedlichen Gesichtspunkten erfolgen, eine eindeutige Trennung ist jedoch schwer (Giesecke et al., 2014). Nach technischen und wasserbaulichen Gesichtspunkten gibt es neben den herkömmlichen Laufwasserkraftwerken an Fließgewässern mit ihren unterschiedlichsten Ausführungen die Kategorie der Meereskraftwerke. Dabei wandeln Gezeiten- und Wellenkraftwerke die kinetische Energie der Meeresströmung oder Wellenbewegung in elektrische Energie um. Eine weitere Sonderform von Meereskraftwerken sind sog. Gradientenkraftwerke. Ähnlich dem Prinzip der Wärmepumpe² wird der Temperaturunterschied zwischen Oberflächen- und Tiefenwasser von bis zu 1.000 m ausgenutzt. Speicherkraftwerke bilden mit ihren künstlich erzeugten Stauseen eine weitere Kategorie der WKAn. Sie unterscheiden sich in Kraftwerke mit natürlichem Zufluss und Pumpspeicherkraftwerke, welche neben einem möglichen natürlichen Zufluss auch in der Lage sind aus überschüssiger Energie anderer Energiequellen, Wasser aus einer niedrigeren Höhenlage in einen höher gelegenen Stausee zu pumpen. WKAn mit Staudämmen sind grundlastfähig, werden teilweise jedoch auch zur Spitzenlastabdeckung genutzt (Pálffy, 2014).

² Warmes Oberflächenwasser oder ein anderes Arbeitsmedium, welches mittels Wärmetauscher erwärmt wird, wird durch ein Vakuum verdampft und treibt über Düsen eine Dampfturbine an. Zur Abkühlung wird das Arbeitsmedium über tiefere und kälteren Meeresschichten geleitet. Diese Kreisläufe existieren als offenes und geschlossenes System.

Diese Arbeit beschäftigt sich mit der Machbarkeit, also der Wirtschaftlichkeit und ökologischen Vereinbarkeit einer Kleinwasserkraftanlage entlang der Fließgewässer Schweina bzw. des Höhlenbaches und existierender Mühlgräben. Der Fokus des folgenden Kapitels liegt daher zunächst auf den Auswahlkriterien für eine standortadäquate Laufwasserkraftwerktechnologie und geht näher auf die verschiedenen Varianten der Laufräder (auch hydraulische Strömungsmaschinen genannt) ein.

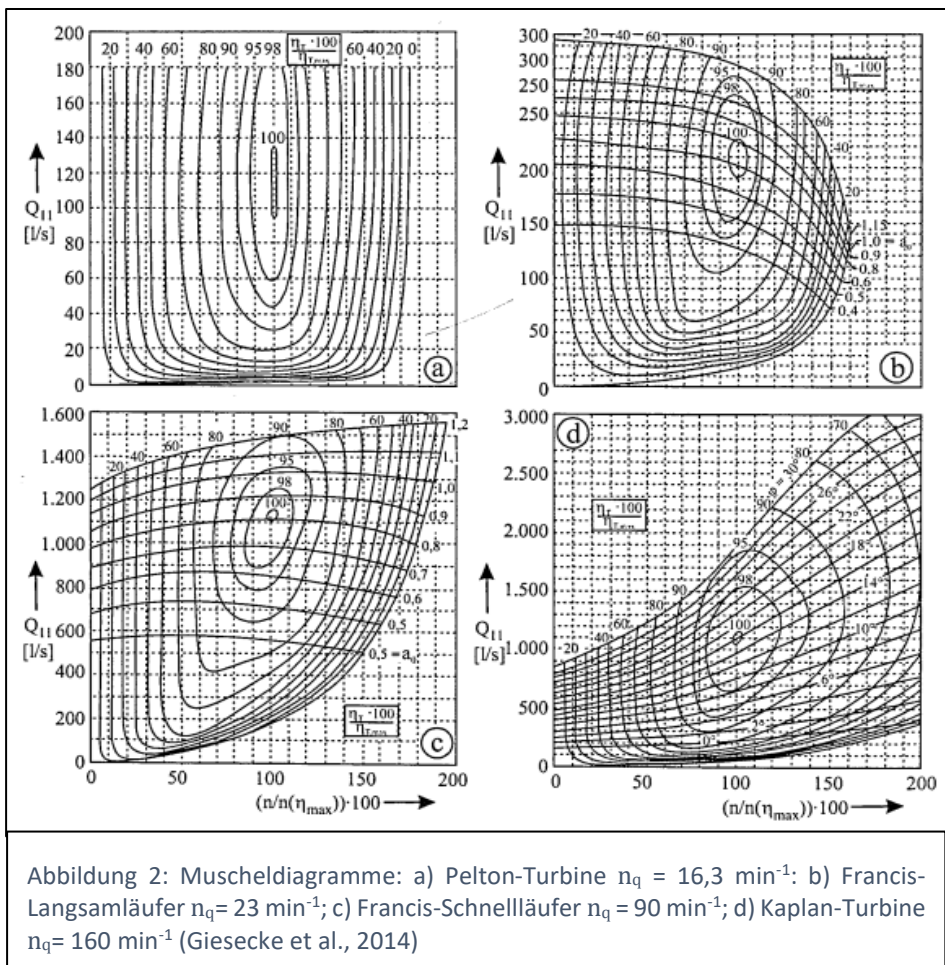
3.1 Vergleich moderner und traditioneller Technologien zur Nutzung von Wasserkraft

Obwohl die heutigen Turbinen über 90 % der potenziellen und kinetischen Energie des Wassers in Kraftwerken zu elektrischen Strom umwandeln, lösten sie nie ihre Vorgänger, die Wasserräder, vollständig ab (Zumbrägel, 2016). Neben der Regulierbarkeit (z.B. wegen zu erwartenden Schwankungen der Wassermenge) und den baulichen Ausmaßen der Anlage wird die Auswahl der Technologie maßgeblich durch die nutzbare Fallhöhe und Wassermenge beeinflusst. Demnach werden hydraulische Strömungsmaschinen immer für einen bestimmten Fall ausgelegt. Dafür werden gewisse Kennzahlen, -werte und -linien angewendet, um die Dimensionierung zu beschreiben.

Da für den Standort Schweina Eingangsparameter wie Fallhöhe und Durchfluss lediglich als Schätzung vorliegen und der Schwerpunkt der vorliegenden Arbeit auf der Wirtschaftlichkeitsanalyse liegt, wird auf die Berechnung der technischen Kennzahlen im Einzelnen verzichtet. Umfangreiche Berechnungen für den Standort der Oschmannschen Papiermühle in Schweina (vgl. Kapitel 6.1.1) wurden 2013 im Rahmen einer Masterarbeit von P. Buchholz durchgeführt. Die Arbeit beschäftigt sich mit der Dimensionierung und Positionierung eines oberflächigen Wasserrads unterhalb des Gerinnes (Buchholz, 2013). Es sei an dieser Stelle dennoch auf die wichtigsten der zu bestimmenden Werte über Fallhöhe und Durchflussmenge hinaus verwiesen (Giesecke et al., 2014):

- (spezifische) Drehzahl und Synchrondrehzahl
- Umdrehungsgeschwindigkeit
- Laufradaußendurchmesser
- Schluckvolumen
- Saughöhe

Ein weiteres Hilfsmittel zur Auswahl der Technologie sind sog. Muscheldiagramme. In Modellversuchen wurden hierzu die verschiedenen Laufräder auf den Durchmesser von 1 m und der fixen Fallhöhe von ebenfalls 1 m vereinheitlicht (Giesecke et al., 2014). Dann wurden Modellgrößen wie der Modelldurchfluss Q_M und Modellwirkungsgrad η_M gemessen. Mittels dieser Modellgrößen können die anderen Einheitsgrößen (Drehzahl usw.) über entsprechende Formeln ermittelt werden (ebd.). Es ergeben sich Werte, die dargestellt in einem Diagramm, Kennlinien bilden, welche für den jeweiligen Turbinentyp charakteristisch sind. Diese kurvenförmigen Linien werden Muschelkurven genannt. Die Schar dieser Kurven ergeben die charakteristischen Muscheldiagramme der jeweiligen Turbinentypen (Abbildung 2). Die Turbinen können dadurch in ihrem Verhalten bei verschiedenen Durchflüssen Q , Drehzahlen n und Öffnung der Regulierorgane a_0 miteinander verglichen werden. Des Weiteren können die Diagramme für die Vorauslegung des Laufrads verwendet werden. Die Darstellung kann in Abhängigkeit von verschiedenen Parametern erfolgen.



Die folgenden Kapitel befassen sich primär mit den Anwendungsbereichen der verschiedenen, hydraulischen Maschinen. Sie unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Anordnung zur Durchflussrichtung (axial oder radial) sowie ihrer besonderen Form und dazugehörigen Bauelementen, welche dazu führt, dass sie sich für entsprechende Fallhöhen, Druckbereiche und konstante oder schwankende Wassermengen eignen. Zur ersten Übersicht dient Abbildung 3, welche die Einsatzbereiche der unterschiedlichen hydraulischen Strömungsmaschinen in Abhängigkeit der Fallhöhe und des Durchflusses darstellt. Hierin sind auch die zu erwartenden Leistungsbereiche ablesbar.

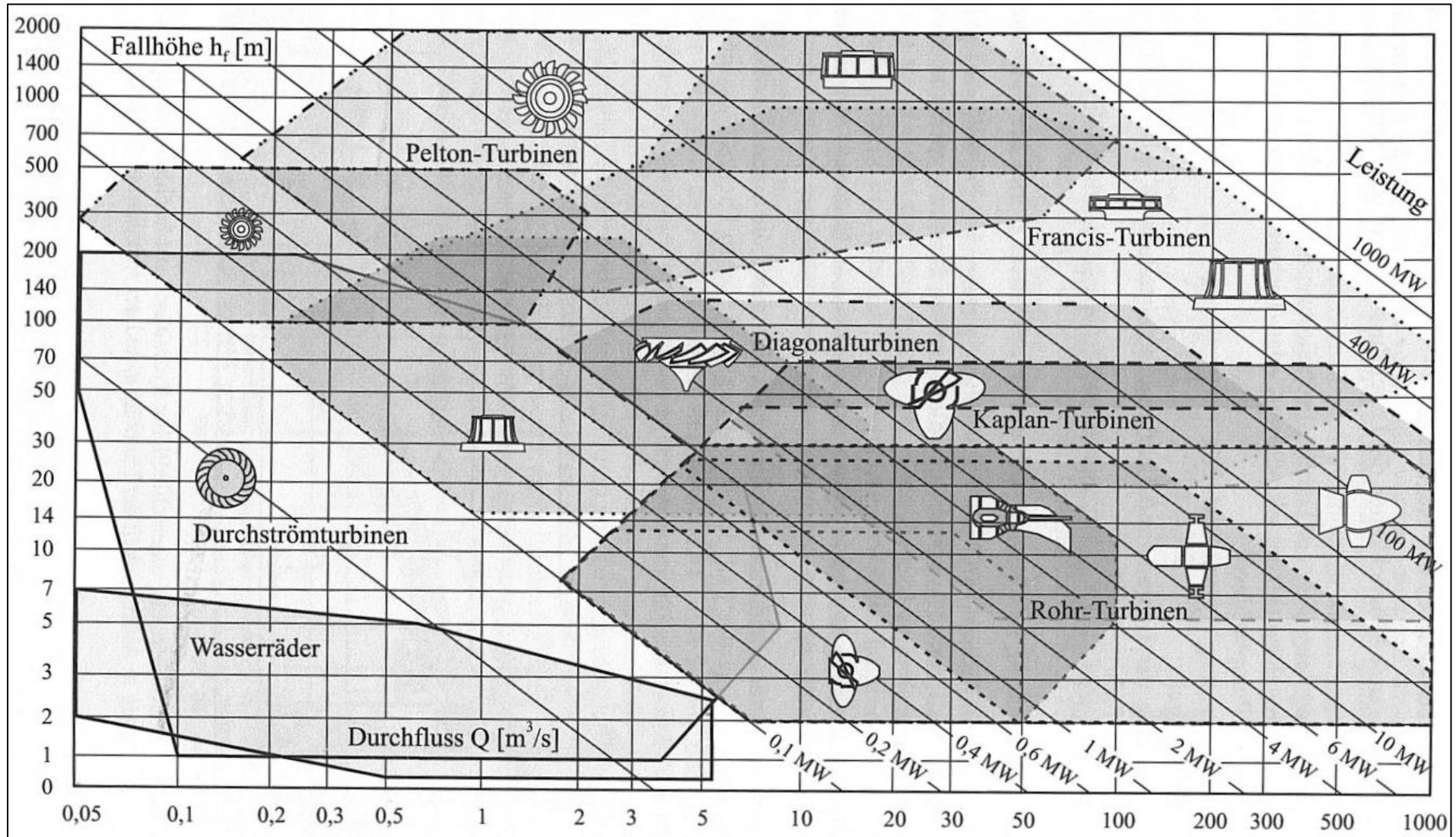


Abbildung 3: Einsatzbereiche der unterschiedlichen hydraulischen Strömungsmaschinen in Abhängigkeit der Fallhöhe h_f und des Durchflusses Q (Giesecke et al., 2014, S. 534)

3.1.1 Turbinen

Zu den wichtigsten Turbinentypen zählen die Kaplan-, Francis-, Pelton- und Durchströmturbinen. Abbildung 4 visualisiert (bis auf die Durchströmturbine) die Anwendung der Turbinenarten nach ihren Druckbereichen und deutet neben den Formen der Laufräder die zusätzlich notwendigen Bauteile und Besonderheiten an.

Durchströmturbinen ähneln in ihrem Funktionsprinzip den Wasserrädern und stellen eine Variante der Gleichdruckturbinen dar. Die radial durchströmten Maschinen eignen sich für Durchflussmengen von ca. 0,025 - 13 m³/s und Fallhöhen von etwa 2-200 m (Giesecke et al., 2014, S. 625–628). Wie bei jeder Turbine sitzt das Laufrad in einem Gehäuse und besitzt sog. Leitschaufeln zur Lenkung und Teilung des Triebwassers. Der maximale Wirkungsgrad η_{\max} liegt nach Giesecke bei 87%. Obgleich es für Gleichdruckturbinen unüblich ist, empfiehlt sich die Verwendung eines Saugrohrs zur Erzeugung eines leichten Unterdrucks und der damit einhergehenden besseren Entleerung der meist klein ausgeführten Schaufeln (ebd.).

Kaplan-Turbinen werden axial vom Wasser durchströmt und arbeiten wie die Francis-Turbine mit Überdruck. Das heißt sie sind in das Unterwasser eingetaucht und benötigen demnach ein Saugrohr, durch welches das Wasser abfließen kann (vgl. Abbildung 4 a, b und c). Anders als bei den Gleichdruckturbinen fällt der Druck innerhalb des Gehäuses ab. Verstellbare Laufradschaufeln ermöglichen der Kaplan-Turbine trotz schwankenden Durchflusses gleiche bzw. ähnliche Wirkungsgrade zu erreichen (Giesecke et al., 2014, S. 591). Sie erinnern in ihrer Form stark an einen Propeller (Propeller-Turbinen sind die Vorgänger der Kaplanturbinen). Ihr Einsatzgebiet findet sich in Fallhöhen bis zu ca. 80 m und großen Durchflüssen wieder (ebd.). Sonderformen der Kaplan-Turbinen sind sogenannte Rohr-, Straflo- (Straight-Flow) und Diagonalturbinen (nach Dériaz). Der maximale Wirkungsgrad η_{\max} liegt nach Giesecke bei 91%.

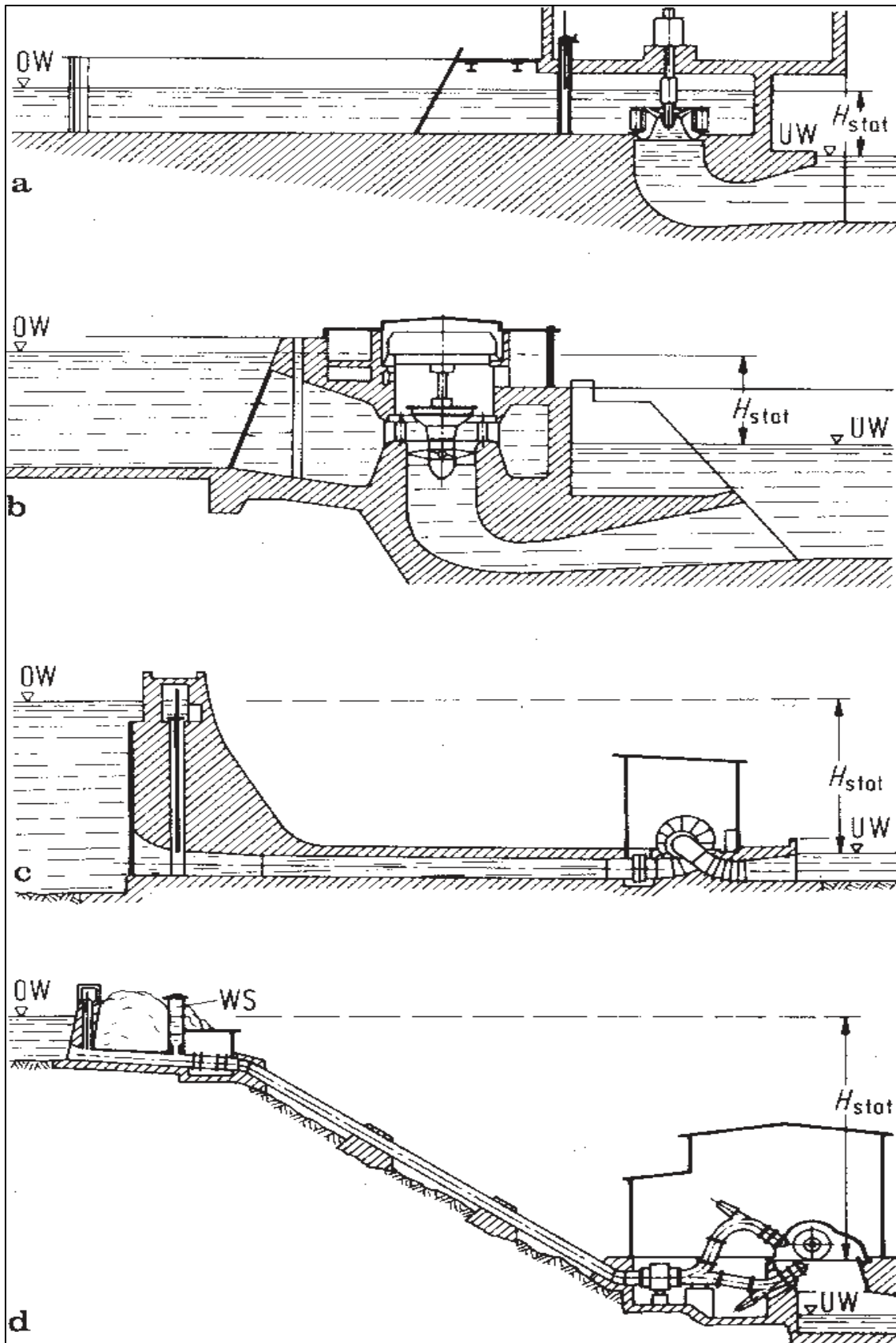


Abbildung 4: Wasserkraftwerke. a Niederdruckanlage im Seitenkanal mit Francisturbine; b Niederdruckanlage im Fluss mit Kaplanturbine; c Hochdruckanlage an einer Talsperre mit Francisturbine; d Hochdruckanlage im Gebirge mit Peltonturbine. OW Oberwasser, UW Unterwasser, WS Wasserschloss, H_{stat} statische Fallhöhe (Thamsen, 2020, S. 215–224)

Bei den **Francis-Turbinen** tritt das Wasser radial von außen auf die Laufradschaufeln, durchströmt diese nach innen und verlässt das Laufrad parallel zur Achse. In Schweina liegt eine solche Turbine auf dem Parkplatz hinter dem Rathaus (Abbildung 5). Hieran lässt sich die Durchströmung gut nachvollziehen.



Abbildung 5: Francis-Turbine der ehem. Messerfabrik in Schweina (eigenes Foto vom 21.07.2022)

Eine Besonderheit ist das bei bis zu 750 m Fallhöhe angewandte Spiralgehäuse (vgl. Abbildung 4c) zur besseren Anströmung der Turbine (Giesecke et al., 2014, S. 607–614). Sie sind robust und verhältnismäßig einfach gebaut (kleine Abmessung bei hohem Durchfluss). Ihr Nachteil ist die schlechte Regulierbarkeit. Dies kann, wenn überhaupt nur durch eingebaute Leitschaufeln geschehen (ebd.). Die genaue Laufradform kann entsprechend der spezifischen Drehzahl n_q (Langsam- oder Schnellläufer; $n_q = 30$ bzw. 120 min^{-1}) ausgewählt werden. Der maximale Wirkungsgrad η_{\max} liegt nach Giesecke bei 93%. Ihr Anwendungsbereich überschneidet sich sehr mit dem der **Pelton-Turbine**. Diese hat zwar mit $\eta_{\max} = 91\%$ einen etwas geringeren Wirkungsgrad, kommt jedoch mit viel kleineren Durchflussmengen zurecht (Giesecke et al., 2014, S. 614–624). Um diesen Vorteil zu nutzen werden jedoch sehr große Fallhöhen (100- 2.000 m) benötigt. Die becherförmigen Schaufelräder werden mit Wasserstrahlen aus bis zu 6 Düsen bespritzt (N. N., 1995). Wie die Durchströmturbine zählt die Pelton-Turbine zu den Gleichdruckturbinen und hängt frei über dem Unterwasser UW (vgl. Abbildung 4d).

Abschließend stellt Abbildung 6 den Wirkungsgrad der unterschiedlichen hydraulischen Strömungsmaschinen in Abhängigkeit der Beaufschlagung dar. Wie eingangs erläutert werden

die Laufräder entsprechend eines Durchflusses Q konstruiert. Die Beaufschlagung beschreibt den entsprechenden Bruchteil dessen.

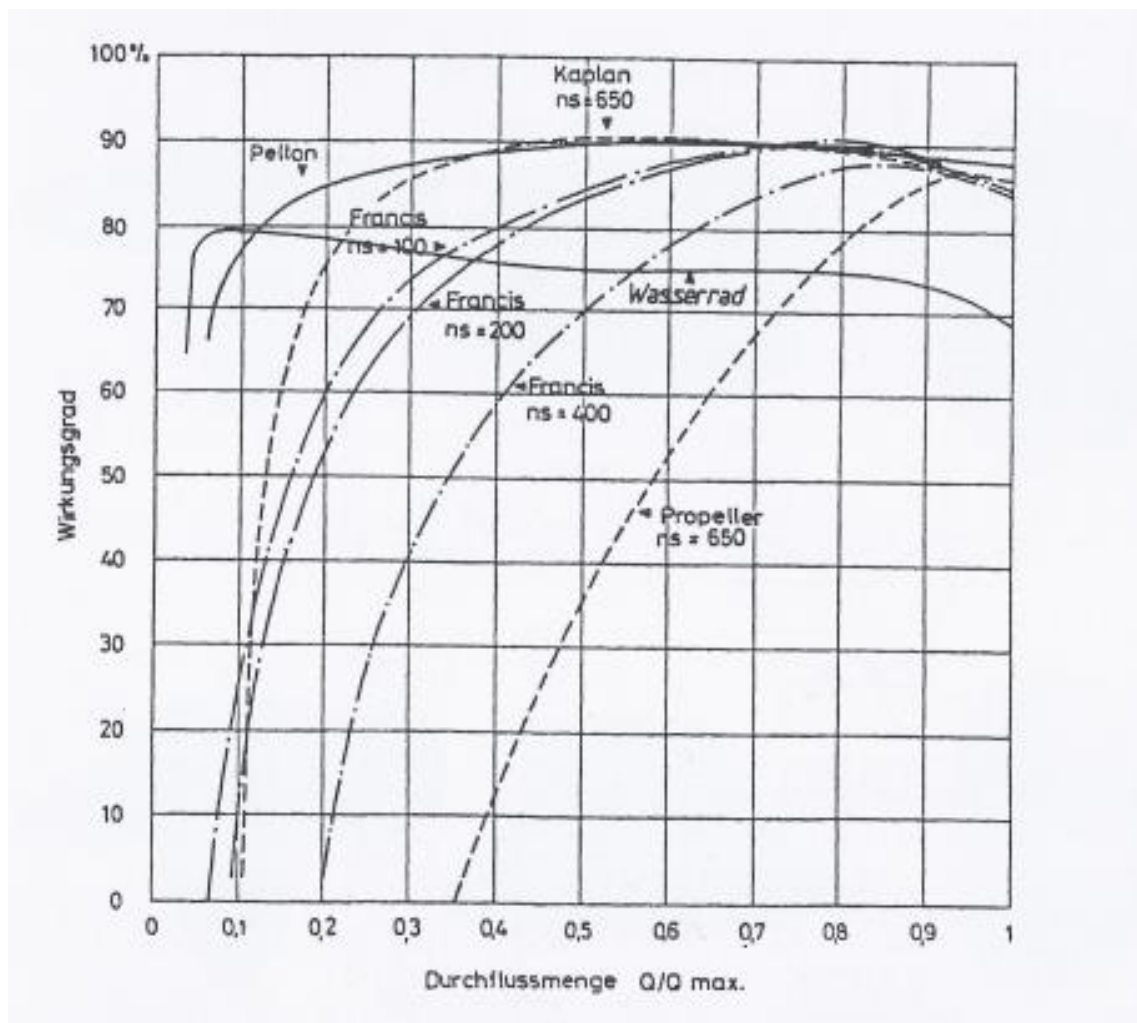


Abbildung 6: Verlauf des Wirkungsgrades verschiedener Wasserturbinen und des Wasserrads in Abhängigkeit der Beaufschlagung Q/Q_{max} , Q = Durchflußmenge bei Teilöffnung, Q_{max} = maximale Durchflußmenge (Pálffy, 2014)

3.1.2 Wasserräder

Diese geschichtsträchtige Technologie eignet sich bis heute für kleine Durchflüsse und niedrige Fallhöhen. Ihre einfache Bauweise bringt viele Vorteile mit sich (Giesecke et al., 2014, S. 629–633):

- geringer Tiefbau
- wenige zusätzliche Anlagenkomponenten
- leichte Wartung
- Unempfindlichkeit gegenüber Verstopfungen
- häufig geringe Investitionsaufwendungen
- großer Beaufschlagungsbereich (Q/Q_{max} = 30-100 %) mit geringen Wirkungsgradverlusten (vgl. Abbildung 6)

Ein weiteres großes Plus für Wasserräder ist die nahezu unkritische Passierbarkeit für absteigende Fische (Schomaker & Wolter, 2016).

Wasserräder unterscheiden sich maßgeblich darin, von wo das Wasser auf die Schaufeln trifft. Es gibt **unter-, mittel- und oberflächige Wasserräder** (Abbildung 7). Jeweilige Zwischenlösungen werden rückschlächtig (zwischen ober- und mittelschlächtig) und halbschlächtig (zwischen mittel- und unterschlächtig) genannt (Bach, 1886).

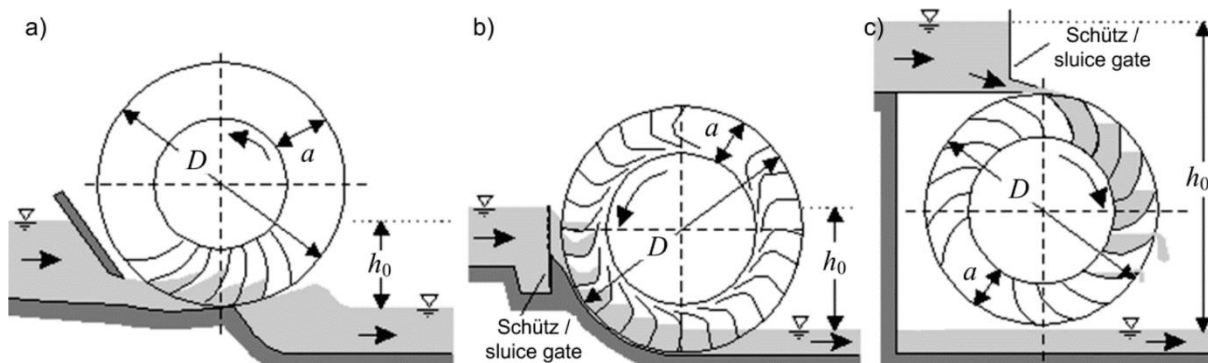


Abbildung 7: Einteilung der Wasserräder nach Höhenlage des Wassereintritts, a) unterschlächtiges Wasserrad, b) mittelschlächtiges Wasserrad und c) oberflächiges Wasserrad (Giesecke et al., 2014, S. 630)

Ein weiteres Charakteristikum stellt die Ausführung des Einlaufbauwerks dar. Sie bilden die Regulier- und Leitkomponente für den Wasserstrahl. In Abbildung 7 a) ist ein Spansschütz und in b) ein Überfallschütz zu erkennen. Des Weiteren kann ein Kulisseneinlauf verwendet werden, durch dessen Form der Wasserstrahl zusätzlich in die entsprechende Richtung gelenkt wird (Harten, 2018).

Unterschlächtige Wasserräder

Sie sind die älteste und einzige Form zur Energiegewinnung an Fließgewässern, die an Ort und Stelle der Anlage keine Fallhöhe benötigt. Unterschlächtige Wasserräder machen mit gekrümmten Schaufeln bis zu 55 % der kinetischen Energie, also dem Strömungsdruck des anströmenden Wassers nutzbar (Giesecke et al., 2014, S. 631). Anders als bei den Turbinen und anderen Wasserrädern sind die Schaufelräder meistens zu allen Seiten hin offen. Werden die Schaufeln an den Seiten und nach innen verschlossen, spricht man von Zellen bzw. Zellenrädern (Harten, 2018). Üblicher für unterschlächtige Schaufelräder sind jedoch sog. Kropfgerinne (konzentrisch geformte Mantel), um das an den Seiten vorbeiströmende Wasser zu reduzieren (Nuernbergk, 2013). Bei Gefällen von weniger als 1,5 m benötigen sie etwas größere Durchflussmengen von 1-4 m³/s (ebd.).

Mittelschlächtige Wasserräder

Hier werden die Schaufeln oder Zellen etwa auf Höhe der Drehachse mit Wasser beaufschlagt. Durch das gebogene Kropfgerinne - mit fast gleichem Radius wie der des Rades außen – fällt und fließt das Wasser hin zum Unterwasser. Gerinne ohne Kropf werden Schussgerinne genannt. Mittelschlächtige Wasserräder eignen sich für Fallhöhen von 1-3 m und Durchflussmengen von 0,5-3,75 m³/s. Dabei werden Wirkungsgrade von max. 80 % erreicht (Giesecke et al., 2014).

Das Zuppinger-Wasserrad findet heute bei unter- und mittelschlächtigen Wasserrädern die meiste Anwendung (Nuernbergk, 2013). Es vereint die Vorteile der Entwicklungen von Poncelet und Sagebien (Harten, 2018). Typisch für die Zellenräder sind die langgezogenen Schaufeln mit der Krümmung des Poncelet-Rades und der Tiefe des Sagebien-Rades. Ebenso angewandt wird immer noch das Bachsche-Wasserrad (Nuernbergk, 2013). Es ähnelt in seiner Form den heutigen oberflächigen Wasserrädern.

Oberschlächlige Wasserräder

Die über dem Unterwasser, freihängenden Wasserräder werden ungefähr am Scheitelpunkt oberhalb der Achse mit Wasser beaufschlagt (vgl. Abbildung 7c). Das Triebwasser wird über ein Gerinne mit oder ohne Gefälle zugeführt. Es genügt bereits eine Durchflussmenge von 30 l/s und Fallhöhen ab 2,5 m (Nuernbergk, 2014). Bei vollständig ausgerundeten Blechzellen können bis zu 85 % der potentiellen Energie des Wassers in mechanische Energie umgewandelt werden (Giesecke et al., 2014).

Bei der Gestaltung dieser Wasserräder sind einige grundlegende Dinge zu beachten, um das Potenzial aus Wassermenge und Fallhöhe weitestgehend auszuschöpfen. Ein:e unbekannt:e:r Autor:in stellte diese Entwurfsregeln schon 1825 im *Polytechnischen Journal* richtigerweise fest (ANONYMOUS, 1825) und soll hier daher zitiert werden:

1. Der Eichpfahl: Jede Mühle muss ein gewisses Gefälle des Wassers haben, wodurch die Maschine in Bewegung gesetzt wird. Dieses wird durch den obern und untern Eichpfahl bezeichnet und festgesetzt, und ist Eigenthum des Mühlenbesizers, welches auf keine Weise geschmälert werden darf. Dagegen aber darf der Müller niemals sein Wasser über den Eichpfahl aufstauen. Je besser nun das Wasser zwischen den beiden Eichpfählen, oder was dasselbe ist, das Gefälle benutzt wird, desto mehr Vorteil erwächst der Mühle. Wie er diesen Zweck erreicht, ist jedem andern gleich, und es wäre Torheit hierin Schranken setzen zu wollen. So ist es z.B. für jeden andern unschädlich, ob der Müller seine Einlass-Schütze viel oder wenig aufzieht, ob sie breit oder schmal ist, hoch oder nieder liegt etc. Kurz, der Müller benutzt sein Gefälle zwischen seinen beiden gegebenen Eichpfählen nach bestem Wissen; sorgt aber dafür, dass, wenn eintretendes Hochwasser den oberen Eichpfahl übersteigt, das Wehr geöffnet wird.
2. Das Vorstandwasser (das nasse Gefälle, Wasserschwere vor der Schütze) ist dasjenige Wasser, welches, wenn die Einlassschütze gezogen und die Mühle im Gange ist, noch vor dieser, bis zur Höhe des Eichpfahls steht. Oberschlächlige Werke sollten gar keinen (oder einen geringen) solchen Wasservorstand haben, denn er nutzt wenig, schadet aber viel. Je ruhiger das Wasser auf das Wasserrad läuft, desto besser ist es. Bei Mühlen, welche die ungeschickte Einrichtung mit einem starken Wasservorstande vor der Schütze haben, steht bei Wassermangel der Eichpfahl oft 12 Zoll hoch über den Wasserspiegel heraus, und dabei sollte sich doch wohl der Müller erinnern, dass er sein Gefälle schlecht zu benutzen weiß.
3. Der Fall von der Einlass-Schütze bis auf's Wasserrad: Dieser beträgt oft 4 bis 6 Zoll und ist ebenfalls eine Verschwendung des Gefälles, denn wie gesagt, das Wasser soll ruhig bis zur Öffnung rinnen, durch welche es auf das Rad fällt.
4. Das Wasserrad: In den meisten Mühlen ist das Wasserrad zu tief und zu weit geschaufelt. Beides ist nachtheilig. Sind die Schaufeln zu tief [d.h. die Kranzbreite a ist zu groß, vgl. Abbildung 7], so kommt das Wasser zu nahe an den Mittelpunkt des Rades, und das Gewicht desselben hat einen kurzen Hebel. Daher wirkt es erst beim Ausguss, oder wenn sich der Kasten leert. Ist ein Rad zu weit geschaufelt, so nimmt es nicht genug Wasser auf, wodurch eine große Wirkung verloren geht. Damit ein Wasserrad eine hinlängliche Menge Wasser aufnehmen kann, muss es eng geschaufelt und dabei möglichst breit gemacht werden.

Außerdem sollte der Austrittspunkt vom Gerinne auf das Wasserrad etwas nach hinten gelegt werden und das Wasserrad sollte zu keinen Zeitpunkt das Unterwasser berühren (Nuernbergk, 2014). Mit diesen einfachen Regeln lassen sich mit dem entsprechenden handwerklichen Geschick, gute Wasserräder selbst bauen.

3.1.3 Wasserkraftschnecken

Nach dem archimedischen Prinzip, welches seit dem Altertum zur Wasserförderung benutzt wird und seit dem 20. Jhd. in der Abwassertechnik angewandt wird, wandeln Wasserkraftschnecken wie überschlächlige Wasserräder die aus der Fallhöhe resultierende potenzielle Energie in mechanische Energie um (Giesecke et al., 2014). Entscheidend bei der Dimensionierung von Wasserkraftschnecken sind die Schluckfähigkeit in Abhängigkeit des Steigungswinkel β (vgl. Abbildung 8). Nur durch klein gehaltene Steigung und mit dadurch erreichtem großen Schluckvermögen können Wirkungsgrade von 80 % erreicht werden (Lashofer et al., 2015). Die Durchflussmenge sollte dem Schluckvermögen entsprechen und ist nach heutigem Stand der Technik in einem Bereich von 0,25-6,5 m³/s möglich. Höhenunterschiede sind im Bereich 0,5-8,0 m realistisch, womit die Wasserkraftschnecken einen größeren Arbeitsbereich als die Wasserräder abdecken (Giesecke et al., 2014).

Ein großer Nachteil sind die immensen Lärmemissionen von Wasserkraftschnecken, welche durch konstruktive Veränderungen der Schneckengeometrie zwar reduziert werden können, jedoch in bewohnten Gebieten weiterhin problematisch sind (Hammerl et al., 2009). Die Berechnungen der Schneckengeometrie mit Gangzahl und -steigung, Schneckeninnen- und -außenradius, Neigungswinkel usw. sind weitaus komplexer als bei einem Wasserrad.

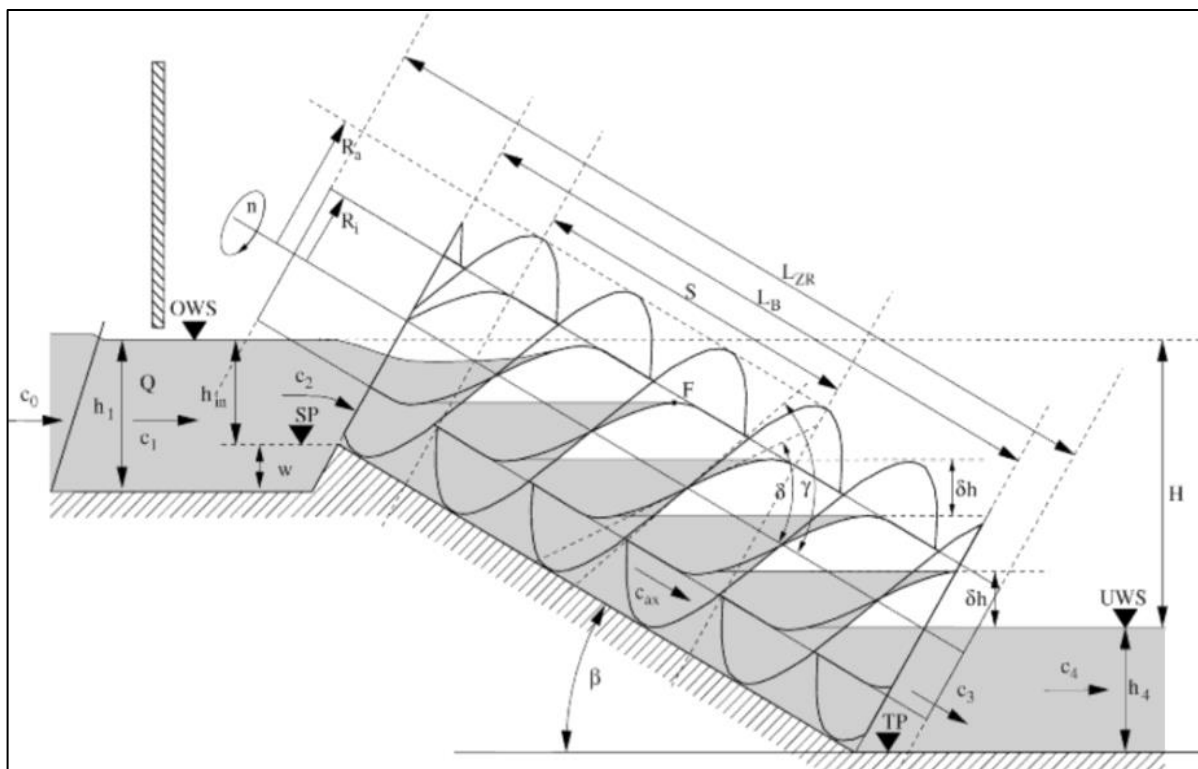


Abbildung 8: Schematische Darstellung einer Wasserkraftschnecke (Heimerl, 2015)

Wasserschnecken bieten in der patentierten Ausführung des österreichischen Unternehmens *Hydro-Connect* die Möglichkeit zur Energiegewinnung mit zeitgleichem Fischauf- und -abstieg (Hydro-Connect GmbH, 2022). Dabei wird der Fischaufstieg durch eine gegenläufige

Wasserförderschnecke innerhalb der Wasserkraftschnecke realisiert. Die Dimensionierung erfolgt entsprechend dem Leitfisch des Gewässers (vgl. Kapitel 4.3). Nach aktuellem Kenntnisstand existieren die Anlagen jedoch nur in Österreich (ebd.).

3.1.4 Neue Entwicklungen

Das eben genannte Beispiel zu Weiterentwicklungen bei der Wasserschnecke zeigt, dass die Technologien für geringe Fallhöhen weiterhin Gegenstand der Forschung sind. Neben der Passierbarkeit für Fische und andere Wasserlebewesen geht es dabei darum, die Wirtschaftlichkeit kleinerer Anlagen zu verbessern. Im Folgenden sollen weitere neue Entwicklungen und Spezifikationen bzw. Kombinationen bestehender Techniken aufgeführt werden:

- Turas-Wasserrad & Segmentkranzwasserrad
- Steff-Turbine
- Wasserwirbelkraftwerk
- Very-low-head-Turbine
- überströmte Schachtkraftwerk.

Das **Turas-Wasserrad** ist eine Weiterentwicklung des oberflächigen Wasserrads. Die Besonderheit ist, dass dieses nur einseitig gelagert ist und dadurch die Montage stark vereinfacht. Der Wirkungsgrad kann dabei wie beim oberflächigen Wasserrad 70 % betragen (Heimerl & Kohler, 2013). Herstellende Unternehmen sind z.B. die *Bega-Wasserkraftanlagen GmbH* und die *Fichtner Water & Transportation GmbH*. Beim **Segmentkranzwasserrad** hingegen ist das Wasserrad modular aufgebaut. Breite und Durchmesser lassen sich somit flexibel gestalten. Dadurch werden die Herstellungskosten gesenkt und es kann auf kostenintensive Spezialanfertigungen verzichtet werden (Nuernbergk, 2014).

Ähnlich, wie bei einem Förderband, sitzen die Schaufeln der **Steff-Turbine** auf einem Kettenrundlauf, geführt um zwei Umlenkräder. Die *WRH Walter Reist Holding AG* verspricht mit den Anlagen einen sicheren Fischabstieg und eine Unempfindlichkeit gegenüber im Wasser schwimmender Feststoffe. Neben der Anwendung an Fließgewässern, hat sie auch vielfältige Einsatzmöglichkeiten in der Industrie (Energierückgewinnung bei Prozessen mit hohen flüssigen Volumenströmen, z.B. in Kläranlagen) sowie eine entsprechende Wirtschaftlichkeit (Malcherek et al., 2013).

Wasserwirbelkraftwerke sind ab einer Fallhöhe von nur 70 cm effizient und erreichen dabei Wirkungsgrade bis zu 60 % (Heimerl & Kohler, 2013). Der Zulauf mündet in ein rundes Becken, welches zur Mitte hin abfällt und dort ein Loch als Ablauf hat. Durch die runde Form entsteht ein Wasserwirbel, dessen Energie durch einen Rotor im Ablauf umgewandelt wird. Der Durchmesser des Beckens richtet sich nach der Wassermenge. Durch die geringen Drehzahlen (ca. 20 min⁻¹) und breiten Abstände der Rotorblätter ist diese Technologie relativ ungefährlich für absteigende Jungfische.

Seit 2003 existiert das Patent der **Very-low-head-Turbine** (kurz: VLH-Turbine). Bezogen auf den großen Durchmesser hat dieser Turbinentyp geringere spezifische Durchflüsse im Vergleich zu den Kaplan- und Rohrturbinen (Heimerl & Kohler, 2013). Daraus resultieren geringere Drehzahlen, die eine Anlage fischfreundlicher gestalten. Die Firma *MJ2 technologies* bietet Anlagen für Fallhöhen von 1,5 m bis zu über 4,5 m bei Durchflussmengen von 10-27

m³/s an (MJ2 Technologies, 2018). Dabei sind aufwendige Ein- und Auslaufbauwerke nicht notwendig.

An der TU München wird zusammen mit dessen Ausgründung *Hydroshaft GmbH* an sogenannten **überströmten Schachtkraftwerken** geforscht (Hydroshaft, 2022; TUM, 2022). Die Turbine (Dive-Turbine) befindet sich im Unterwasser und ist durch einen engmaschigen Horizontal-Rechen vor Geschiebe und Fischen geschützt. Anders als bei den herkömmlichen Buchtenkraftwerken wird die Anlage vom Wasser überströmt und bedarf keines Kraftwerkgebäudes. Diese Überströmung stellt eine Leitströmung für die Fische dar und bewirkt, dass sie nicht in Richtung oder sogar durch den Rechen schwimmen. Die simple und automatisierte Rechenreinigung transportiert das Geschiebe regelmäßig vom Ober- ins Unterwasser. Eine der Pilotanlagen hat einen vielversprechenden Wirkungsgrad von knapp 90% (TUM, 2022).

Des Weiteren gibt es einige Weiterentwicklungen im Bereich der kinetischen Strömungsmaschinen, wie der Schiffsmühle (unterschlächtiges Wasserrad) und Mantelturbine, die jedoch nach Heimerl & Kohler (2013) auf Grund ihrer geringen Effizienz weiterhin Nischenprodukte bleiben werden.

Im Hinblick auf die Auswahl einer geeigneten Laufwasserkraftwerktechnologie gilt es neben den betrachteten technischen Aspekten auch ökonomische Bilanzierungen, Standortgegebenheiten, ökologische Verträglichkeit und rechtliche Vorgaben zu berücksichtigen. Letzteren soll sich in den anschließenden Kapiteln gewidmet werden.

4 Genehmigungsrecht

Das Vorhaben zur Errichtung bzw. Wiedereinbetriebnahme einer WKA ist eine wasserbauliche Maßnahme, welche nach §11 WHG einer Erlaubnis oder Bewilligung bedarf (vgl. Kapitel 4.1.2). Nach Einreichen der vollständigen Antragsunterlagen (vgl. Kapitel 4.2) ist bei einer Stromerzeugungskapazität von weniger als 150 kW, wie sie an der Schweina zu erwarten sind (vgl. Kapitel 6.2), mit maximal einem Jahr bis zur Erteilung der Erlaubnis oder Bewilligung zu rechnen.

Im folgenden Abschnitt soll zunächst ein Überblick über die Gesetze erarbeitet werden, die den Bau und Betrieb von WKAn direkt betreffen. Im Anschluss wird konkret auf die einzureichenden Unterlagen und Gutachten für ein entsprechendes Genehmigungsverfahren von WKAn eingegangen. Abbildung 9 stellt das Grundschemata für ein Genehmigungsverfahren hinsichtlich Wasserkraftnutzung dar.

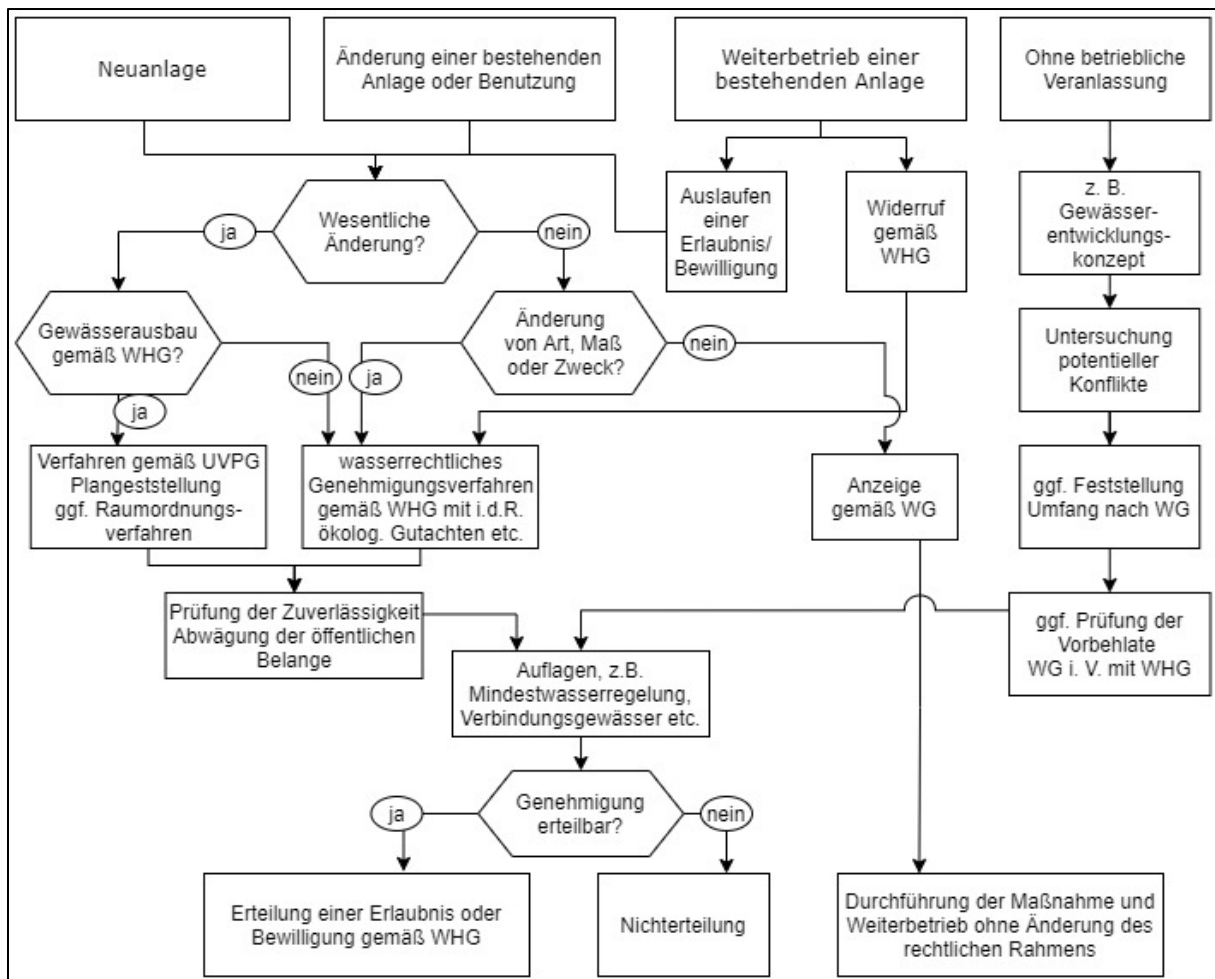


Abbildung 9: Grundschemata für die rechtliche Behandlung der Wasserkraftnutzung (Giesecke et al., 2014, S. 102)

4.1 Gesetze

Für die Planung, den Bau und Betrieb von WKAn müssen vielerlei Gesetze beachtet werden. Dazu zählen nicht nur die verschiedenen Zweige des Umweltrechts wie Umweltverfassungsrecht und das Umweltverwaltungsrecht, sondern auch eine Vielzahl gesetzlicher Vorgaben aus den jeweiligen Bau- und Gewerbeverordnungen sowie Unfallverhütungs- und Arbeitssicherheitsvorschriften (Giesecke et al., 2014, S. 98). Zu den wichtigsten Gesetzen, welche die Prüfung einer Machbarkeit einer WKA direkt betreffen, zählen die EU-Wasserrahmenrichtlinie und das dt. Wasserhaushaltsgesetz sowie im konkreten das Thüringer Wassergesetz. Diese und insbesondere die Vorschrift zur Mindestwasserregelung werden in den folgenden Kapiteln erläutert.

4.1.1 EU-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL)

Diese europäische Verordnung ist das Rahmenwerk für die nationale Gesetzgebung hinsichtlich des Wasserrechts. Sie stellt einen Paradigmenwechsel von einer wasserwirtschaftlichen zu einer ökologischen Gewässerbewirtschaftung dar, in der Gewässernutzungen wie Wasserkraft und Schifffahrt eine untergeordnete Rolle spielen. So sind wasserrechtliche Entscheidungen viel stärker nach Zielsetzungen des Natur- und Artenschutzes zu treffen. Wie in der Einleitung bemerkt, setzte sich die Europäische Union im Jahr 2000 das Ziel, bis 2015 alle Oberflächengewässer und Grundwasser in einen chemischen und ökologischen guten Zustand zu bringen. Diese Fristsetzung wurde in Deutschland

mittlerweile auf das Jahr 2027 verlängert (UBA, 2016). Der Zustand der Gewässer wird hinsichtlich der Ökologie durch biologische (Flora und Fauna), chemische (Schadstoffe) und unterstützend dazu durch physikalisch-chemische (Temperatur, pH-Wert etc.) sowie hydromorphologische (Wasserhaushalt, Durchgängigkeit etc.) Qualitätskomponenten beschrieben. Die chemische Bewertung erfolgt nach der Bemessung prioritärer und anderer Schadstoffe (ebd.). Nach einer Bestandsaufnahme wurden 2009 erste Maßnahmenprogramme veröffentlicht. Die aktuellste Fassung ist der LAWA-BLANO Maßnahmenkatalog (2020). Hierin werden keine expliziten Maßnahmen für die Schweina genannt und sind eher genereller Natur hinsichtlich der Verbesserung der Hydromorphologie (z.B. Mindestwasser und Durchgängigkeit).

Ein Problem dieser Richtlinie ist der nicht hinreichende Kenntnisstand z.B. bzgl. der Sicherstellung der abwärts gerichteten Wanderung der Aquafauna (Giesecke et al., 2014, S. 100). Wie bereits in Kapitel 3.1.2 bemerkt, ist mittlerweile für Wasserräder jedoch fast eine Unbedenklichkeit für den Fischabstieg z.B. durch Schomaker & Wolter (2016) und Wolter et al. (2020) nachgewiesen (vgl. auch Kapitel 4.3). In Deutschland wird diese Richtlinie hauptsächlich im Wasserhaushaltsgesetz (WHG) umgesetzt und für das Bundesland Thüringen durch das Thüringer Wassergesetz (ThürWG) ergänzt.

4.1.2 Wasserhaushaltsgesetz (WHG) und Thüringer Wassergesetz (ThürWG)

Die beiden Gesetze verteilen zunächst rechtliche Zuständigkeiten und stellen Eigentumsverhältnisse klar. Demnach sind Gewässer erster Ordnung Eigentum des Landes und Gewässer zweiter Ordnung Eigentum der Gemeinde, in der sie liegen. Dieser Ordnung nach verteilen sich auch die Zuständigkeiten für die Erteilung von Genehmigungen einer Wasserkraftnutzung. Die Schweina ist ein Oberflächengewässer zweiter Ordnung. Demnach sind die anliegenden Gemeinden Schweina bzw. Bad Liebenstein und Barchfeld unterhaltungspflichtig. Sie zählt zur Flussgebietsgemeinschaft der Weser (FGG Weser, 2022). Zuständige untere Wasserbehörde ist das Umweltamt des Wartburgkreises und obere Wasserbehörde ist das Thüringer Landesamt für Umwelt, Bergbau und Naturschutz (TLUBN).

Während eine Erlaubnis kürzer befristet ist und dadurch regelmäßiger erneuert werden muss, gilt eine Bewilligung i.d.R. 30 Jahre, welche in besonderen Fällen auch überschritten werden darf (§ 14 Absatz 2). Die gehobene Erlaubnis nach §15 WHG ist seit 2009 neu dazugekommen und entsprechend zwischen der Erlaubnis und Bewilligung einzuordnen. Werden diese Genehmigungen für ein Vorhaben erteilt, erfolgt ein Eintrag in das Wasserbuch nach § 87 WHG. Hierin sind auch sog. alte Rechte und Befugnisse vermerkt, die bspw. ehemalige Mühlenstandorte betreffen. Nach § 21 WHG sind alte Rechte und Befugnisse am 1. März 2020 erloschen, die nicht bis zum 28. Februar 2010 im Wasserbuch eingetragen waren und auch nicht bis zum 1. März 2013 angemeldet wurden. Entsprechende Ausnahmen sind dem Gesetzestext zu entnehmen. Auf Anfrage beim TLUBN sind keine Einträge hinsichtlich alter Rechte oder Befugnisse zur Wasserkraftnutzung entlang der Schweina im digitalen Wasserbuch enthalten. Da tieferegehende Recherchen Verwaltungskosten bedeuten, wurde an dieser Stelle darauf verzichtet.

Abschließend ist hierzu festzuhalten, dass erhaltene alte Rechte oder Befugnisse eine (gehobene) Erlaubnis oder Bewilligung hinfällig machen und eine Wiederinbetriebnahme einer WKA lediglich anzeigepflichtig wäre (vgl. Abbildung 9). Zugleich sind gewisse Auflagen, wie die Mindestwasserregelung nicht ausgeschlossen.

4.1.3 Mindestwasserregelung

Da bei fast jedem Fließwasserkraftwerk ein Teil des Wassers abgeleitet und angestaut werden muss, um eine gleichmäßige Triebwasserzufuhr zu gewährleisten, gibt es die sog. Mindestwasserregelung. Als Mindestwasser wird das Wasser bezeichnet, das nach der Ausleitung zur WKA im Mutterbett des Fließgewässers als Mindestwert verbleiben muss. Zur Ermittlung dieses Durchflusses gibt es keine bundeseinheitlichen Vorschriften. Einige Bundesländer wie bspw. Baden-Württemberg haben eigene Leitfäden, andere berufen sich auf die LAWA-Empfehlung und stellen die Auswahl zwischen formelbasierter Ermittlung und der Simulationssoftware CASiMiR frei (LAWA, 2020). Auf Nachfrage bei der unteren Wasserbehörde im Wartburgkreis würde das Mindestwasser mit der wasserrechtlichen Entscheidung festgelegt werden.

„Maßgeblich sind die mit dem Antrag vorzulegenden hydrologischen Daten des Gewässers.“ (D. Kircher vom Umweltamt Wartburgkreis, 2022, s. Anhang)

Die Auflage zum Mindestwasser ist ein entscheidendes Maß für die Abschätzung des tatsächlichen Potenzials und damit auch der Dimensionierung eines Wasserkraftwerks, insbesondere der Auslegung des Laufrads (vgl. Kapitel 3.1).

4.2 Antragsunterlagen

Bedarf ein beabsichtigtes Vorhaben einer Genehmigung, Erlaubnis, Bewilligung oder Planfeststellung oder ist es der Behörde anzuzeigen, sind alle zur Beurteilung erforderlichen Unterlagen vorzulegen, einschließlich der Pläne, Gutachten und Beschreibungen. Für ein wasserrechtliches Verfahren ist eine Übersicht der einzureichenden Antragsunterlagen beim Umweltamt des Wartburgkreises erfragt worden und liegt im Anhang C bei. Die Liste bedarf keiner weiteren Erläuterung. Technische Angaben werden in Kapitel 6 weitestgehend beschrieben. Lagepläne sowie technische Zeichnungen zur Anlage und Quer- bzw. Längsschnitte müssen für einen konkreten Fall erstellt werden. Des Weiteren geht aus dem vorherigen Kapitel 4.1.3 hervor, dass ein hydrologisches Gutachten erstellt werden muss und einen wichtigen Teil der einzureichenden Antragsunterlagen darstellt.

Nach UVPG Anlage 1 (13.14) müssen geplante WKAn eine Vorprüfung zur Umweltverträglichkeit durchlaufen, um herauszufinden, ob eine Umweltverträglichkeitsprüfungs-Pflicht besteht. Eine entsprechende Checkliste wurde ebenfalls erfragt und dem Anhang C beigelegt. Dies gilt nur bei Neuvorhaben zu beachten, ebenso wie für ein entsprechendes Feststellungsverfahren.

4.3 Fischschutzeinrichtungen und ökologische Durchgängigkeit

Mit der *AKTION-FLUSS* macht das thüringische Umweltamt deutlich, wie wichtig u. A. die ökologische Durchgängigkeit der Fließgewässer für die Artenvielfalt und Intaktheit des Ökosystems Fluss ist. Während es in Bayern und Baden-Württemberg explizite Zuschüsse für die Restaurierung, Elektrifizierung und Wiederinbetriebnahme alter Mühlenstandorte gibt, werden in Thüringen Maßnahmen zum Gewässer- und Hochwasserschutz für fast jedes Gewässereinzugsgebiet vorgeschlagen und mit bis zu 85% gefördert³ (AKTION-FLUSS, 2022; BMWK, 2022a, 2022b). Bei WKA muss der Fischauf- und abstieg gewährleistet sein. Für die Fischschutzeinrichtungen gilt es sich an die Merkblätter und Regelwerke der DWA zu halten

³ Zu Fördermöglichkeiten von WKAn in Thüringen siehe Kapitel 7.3

(DWA, 2014; Hennef, 2005). Die Dimensionierung orientiert sich dabei am sog. Leitfisch. In Abbildung 10 kann die Leitfischregion auf Grundlage von Informationen zu Gefälle und Breite des Gewässers bestimmt werden (Niemeyer-Lüllwitz & Zucchi, 1985). In einer Studienarbeit wurden für das Längsgefälle der Schweina stets Werte über 1 % festgestellt (Michael, 2004).

Als Bach ist sie selten breiter als 5 m und demnach eindeutig der Forellenregion zuzuordnen. Nach dem GEK Schweina (2006) ist der Bach dem Gewässertyp 5 zuzuordnen: „Grobmaterial-

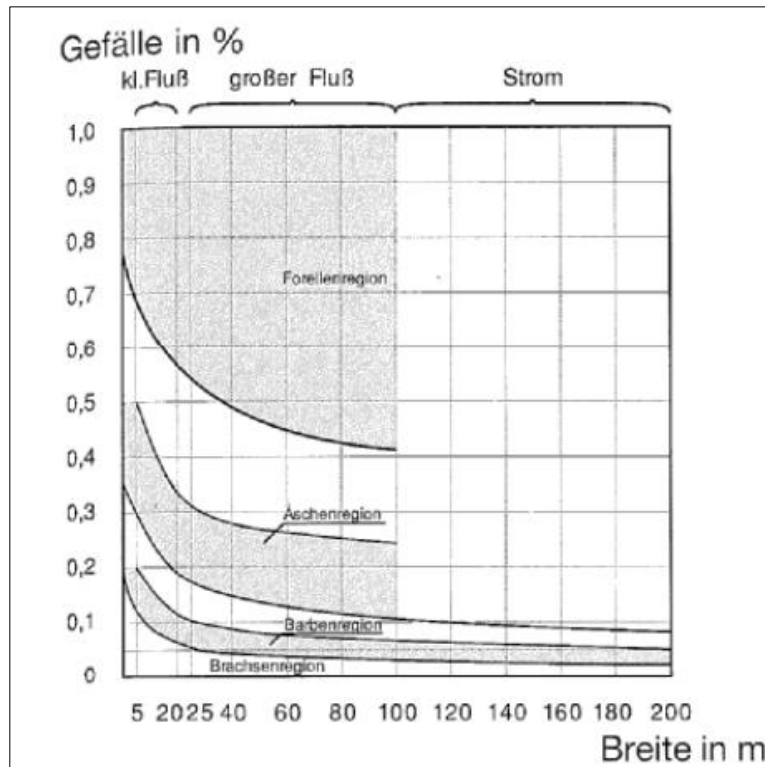


Abbildung 10: Darstellung des Zusammenhanges zwischen Gefälle, Gewässerbreite und Fließgewässerzonierung zur Bestimmung der Leitfischregion

reiche, silikatische Mittelgebirgsbäche“ (Pottgiesser, 2018). Der Gewässertyp gibt spezifischere Informationen zum Leitfisch und dessen Begleitfischarten. Demnach ist die Bachforelle der Leitfisch mit den zugehörigen Begleitfischarten Bachneunauge, Groppe (Mühlkoppe), Elritze und Schmerle (Schönborn, 1992).

Bei der Konzipierung bspw. eines Wasserrads sollte der Abstand der Schaufeln so gewählt sein, dass eine Bachforelle als größte Fischart der Schweina problemlos in eine solche hineinpasst. Die Einrichtung einer Fischaufstiegsanlage sollte hinsichtlich Gefälle und damit einhergehender Fließgeschwindigkeit dem Gewässertyp entsprechen (Ebel, 2013). Spaltmaße sind stets so gering zu halten, dass auch kleine Jungfische die WKA unverletzt passieren können (DWA, 2014; Ebel, 2013).

Die Rahmenbedingungen für diese Gewichtung der Genehmigung hinsichtlich Ökologie wurde wie gesagt im Jahr 2000 durch die WRRL (vgl. Kapitel 4.1.1) geschaffen. Einziger Hinweis auf die negativen Auswirkungen von WKAn und ihren Querbauten war lange nur das Aussterben heimischer Fischarten, zuletzt dokumentiert in der *Roten Liste* von 2009 (Freyhof, 2009). Die Mortalität von Fischen an WKAn und im speziellen Wasserrädern ist noch nicht lange Forschungsgegenstand (Ausnahmen: Schomaker & Wolter, 2016; Wolter et al., 2020). Mit der

Historie von Wasserkraft und den neuen ökologischen Kenntnissen besteht ein Zielkonflikt zwischen Klimaschutz und Biodiversität. Dieser Zielkonflikt soll im folgenden Exkurs betrachtet werden.

4.4 Exkurs: Zielkonflikt Klimaschutz und Biodiversität

Der folgende Abschnitt gibt einen Überblick über die aktuelle Diskussion zum politischen Zielkonflikt Klimaschutz versus Biodiversitätsschutz bei der Wasserkraft. Ähnlich wie bei der Windkraft, gilt das Betreiben von WKAn als regenerative Energiequelle durch die geringen CO_{2eq}-Emissionen als Klimaschutzmaßnahme, hat jedoch ebenso Auswirkungen auf die direkte Umwelt. In einem Memorandum mit dem Titel „Energiewende nicht auf Kosten der aquatischen Biodiversität“ von Martin Pusch et al. (2021) stellen 65 Fachwissenschaftler:innen Forderungen an die Regierung und schlagen Maßnahmen zum Erreichen der Ziele der WRRRL und Einhalten der EU-Flora-Fauna-Habitats-Richtlinie (FFH) vor (Pusch et al., 2021). Demnach stünde der Klimaschutz durch den geringen Anteil der WKAn an der Stromerzeugung mit 3,2 % (DESTATIS, 2021) in keinem Verhältnis zu ihren negativen Auswirkungen auf die Biodiversität. 95 % der 8.300 WKAn sind Kleinwasserkraftanlagen (<1 MW), welche 0,5 % zur Bruttostromerzeugung beitragen (BMU, 2021). Viele dieser Anlagen werden auf Grundlage alter Rechte betrieben und beinhalten keine ausreichenden Fischschutzeinrichtungen. Eine ökologische Sanierung von Kleinwasserkraftwerken sei nach Keuneke (2019) auf Grund des hohen Investitionsaufwands unwirtschaftlich und lohne sich nur bei größeren WKAn. Daraus und einiger weiterer Argumente (vgl. Pusch et al., 2021) ergeben sich die Forderungen zur Renaturierung der kleinen WKAn und der ökologischen Sanierung der großen WKAn (> 1 MW). Die hierin gemeinte kleine Wasserkraft lässt sich nach dem Lenkungsausschuss des *Renewable Energy Policy Network für das 21. Jahrhundert* in kleinere Kategorien wie Mikro- und Pico-Wasserkraft unterteilen (REN21, 2010). Auch diese Anlagen nutzen meistens Turbinen zur Energieerzeugung. Vor allem für absteigende Jungfische < 10 cm gibt es aktuell keine technische Lösung, um zu realisieren, dass sie die Turbinenkraftwerke unbeschadet passieren (UBA, 2015). Wie bereits in Kapitel 3.1.2 über Wasserräder erläutert, ist insgesamt zu konstatieren,

„dass Schädigungs- und Mortalitätsraten an Wasserrädern gering bzw. sehr gering sind, was neben den geringen Drehzahlen insbesondere auch auf die geringen Fließgeschwindigkeiten im Anstrombereich zurückzuführen ist.“ (Schomaker & Wolter, 2016, S. 108)

Des Weiteren wird die Regionalität in der Energieerzeugung immer wichtiger (George & Berg, 2012, S. 301–307; Klagge & Arbach, 2013). Für tiefergehende Details und zur weiteren Einordnung der Thematik sei an dieser Stelle auch auf die Antwort auf das soeben zitierte Memorandum (Pusch et al., 2021) von Steinhoff & Moosdorf (2022) verwiesen.

5 Best-Practice Beispiel „Wasser zu Licht“ am Steinbach

Nach ausführlicher Einführung und -ordnung in das Thema Wasserkraft, soll der konkreten Beschäftigung mit der Ortschaft und ihrem Bach Schweina ein Best-Practice Beispiel zur Umsetzung einer Kleinwasserkraftanlage vorangestellt werden. Hierzu wurden drei Projekte zu existierenden Kleinwasserkraftanlagen angefragt, von denen sich eins als ungeeignet herausstellte. Zum angefragten „doppelten“ Wasserrad des Biobades Glücksbrunn konnte lediglich herausgefunden werden, dass es aus einer ehemaligen Leitung zur Trinkwasseraufbereitung gespeist wird und primär als Schöpfrad fungiert, um den

Höhenunterschied zwischen Becken und Filter des Freibades zu überwinden. Die Entnahmestelle aus der Schweina liegt einen Kilometer entfernt. Das Wasser- und Schöpfrad kann durch einen kombinierten Elektro-Motor/ Generator sowohl angetrieben als auch zur Stromerzeugung genutzt werden.

Genauer beschrieben soll im Folgenden das Projekt „Wasser zu Licht“ in Steinbach – neben Schweina ein weiterer Ortsteil der Stadt Bad Liebenstein (Bad Liebenstein, 2018).

Anlass für das Projekt waren die erheblichen Mehrkosten in der Energieversorgung der Straßenbeleuchtung seit der Eingemeindung zu Bad Liebenstein. Vor der Eingemeindung wurden die Laternen von 23-04 Uhr aus Kostengründen abgeschaltet. Auf Grund der Gleichbehandlung der verschiedenen Ortsteile und auf Verlangen der Bürger:innen nach einer durchgehenden Straßenbeleuchtung wurde die Systematik seit 2015 umgestellt. Dem Stadthaushalt entstanden durch die nun ganznächtliche Beleuchtung Mehrkosten von 16.000 € (ebd.). Zur Lösung des Problems wurde ein ehemaliger Mühlenstandort am Grumbach zur Stromerzeugung mittels Wasserrads wieder in Betrieb genommen und die Beleuchtung auf die energieeffizientere LED-Technologie umgestellt. Da die erwartete Nennleistung des Wasserrads von 2,5 - 4,5 kW nicht dem Strombedarf der ca. 200 Straßenlaternen (5,5 kW) entspricht, wird die am Tage produzierte Energie gespeichert (GeP, 2016). Die Anlage (Abbildung 11) besteht aus einem ca. 40 m langen Gerinne mit Tragkonstruktion, in der das Wasser nach einem Stauwehr zum Wasserrad geleitet wird.



Abbildung 11: Wasserkraftanlage am Grumbach in Bad Liebenstein, OT Steinbach (Thür.), links das Mutterbett des Baches, rechts das ober-schläch-tige Wasserrad mit Gerinne und Maschinenhaus (eigenes Foto vom 21.07.2022)

Das Wasserrad selbst sitzt in einem Trog, aus dem das Unterwasser wieder zum ursprünglichen Bachverlauf geführt wird. Zur einen Seite des Wasserrads befindet sich das Maschinenhaus mit Getriebe, Generator, Steuerungs- und Schaltanlagen sowie dem Batteriespeicher und einer Notstromversorgung durch die *Thüringer Energie AG* (TEAG). Mit

der Umstellung der Straßenbeleuchtung auf LED, der Erstellung eines hydrologischen Gutachtens und Planung sowie Realisierung der WKA hatte das gesamte Projekt einen Kostenumfang von 200.000 € (Bad Liebenstein, 2018). Zum Großteil wurde es aus Landes- und EU-Fördermitteln finanziert, welche die Initiator:innen im Vorfeld einwerben konnten. Noch vor der Fertigstellung wurde das Projekt im Juni 2018 mit einem Sonderpreis im Landeswettbewerb „Unser Dorf hat Zukunft“ ausgezeichnet. Jedoch hatte diese Anlage Probleme mit den trockenen Sommern und produzierte mit der Inbetriebnahme im Dezember 2018 anfänglich nur für rund 70 der ca. 200 Laternen ausreichend Energie (ebd.). Diese Problematik wird auch in den folgenden Kapiteln immer wieder Thema sein und in Kapitel 6.1.3 ausführlich erläutert.

6 Kleinwasserkraft in Schweina (Thür.)

Wie eingangs erwähnt, ist diese Arbeit im Rahmen eines integrierten, energetischen Quartierskonzepts (IEQK) entstanden. IEQKs werden durch die *Kreditbank für Wiederaufbau (KfW)* gefördert und analysieren nach einem ganzheitlichen Ansatz die örtlichen Strukturen und Gegebenheiten nicht nur nach energetischen Gesichtspunkten, sondern auch nach sozialen Aspekten (Bildung, Tourismus etc.). Im Anschluss werden Maßnahmen und Möglichkeiten aufgezeigt, wie es die Quartiere schaffen können, bis 2050 klimaneutral zu werden.

Schweina ist ein Ortsteil Bad Liebensteins, der historisch durch Wasserkraft geprägt ist. Bis ins Ende des 19. Jhd. gab es entlang des Baches Schweina und seiner Mühlgräben noch funktionsfähige Mühlen und sogar elektrifizierte Anlagen mit Turbinen (Raddatz, 1995). Die Schweina entspringt im Rennsteig und fließt durch den Schweina-Grund, den gleichnamigen Ortsteil Bad Liebensteins und mündet Nahe Barchfeld in die Werra. Nördlich des Quartiers befindet sich das FFH-Gebiet „Schweinaer Grund- Zechsteingürtel um Bad Liebenstein“. Das Gewässer selbst ist keine Wasserschutzzone. Im folgenden Kapitel soll es darum gehen, den optimalen Standort hinsichtlich Ökologie und Ökonomie zu finden.

6.1 Standortauswahl

Aus technischer Sicht sind für die Standortauswahl vor allem die Durchflussmenge und Höhendifferenzen entscheidend (vgl. Kapitel 6.1.2 & 6.1.4). Aus energiewirtschaftlicher Perspektive gilt es das daraus resultierende Potenzial und dessen Nutzungsmöglichkeiten zu betrachten (vgl. Kapitel 6.2). Nach Aussage der unteren Wasserbehörde würden jedoch nur alte Mühlenstandorte zur Energiegewinnung aus Wasserkraft in Frage kommen:

„Nach § 27 WHG sind oberirdische Gewässer, soweit sie nicht nach § 28 WHG als künstlich oder erheblich verändert eingestuft werden, so zu bewirtschaften, dass eine Verschlechterung ihres ökologischen und ihres chemischen Zustands vermieden wird. Mithin wird also eine Wasserkraftnutzung an einem bis dahin unberührten Standort, weil er stets zu einer Verschlechterung des ökologischen Zustandes führt, regelmäßig abzulehnen sein. In Frage kommen folglich ausschließlich Standorte, die entsprechend ‚vorbelastet‘ sind.“

(D. Kircher vom Umweltamt Wartburgkreis, 2022, s. Anhang)

Daher werden im folgenden Abschnitt zunächst die alten Mühlenstandorte in Betracht gezogen. Hier sei vorweggenommen, dass Kosten und Erträge ohne hydrologische Daten (Kapitel 6.1.2 Durchflussmenge Q) und genaue Messwerte der Höhenunterschiede (Kapitel 6.1.4 Fallhöhe H) nur näherungsweise bestimmt werden können. Für alle potenziellen Standorte entlang des Baches werden diese jedoch vmtl. sehr ähnlich sein, da keine starke Varianz der beiden Eingangsparameter Fallhöhe und Durchfluss zu erwarten ist.

6.1.1 Alte Mühlenstandorte in Schweina

Eine Ausgabe der *Altensteiner Blätter* von 1995 gibt Auskunft über die Vielzahl der Wasserräder entlang der Bäche und Mühlgräben in Schweina. Hier wird die Geschichte von 16 Mühlenstandorten durch E. Raddatz nachvollzogen, wie lang sie existierten, für was sie genutzt wurden und wer sie besaß. Familie Hoßfeld besaß zeitweilig im 17./18. Jhd. alle Mühlen im Ort. Seit 1909 gibt es in Schweina elektrischen Strom. Vereinzelt existierten die Wasserräder bis in die 90er Jahre und an zwei Standorten wurde das Wasserrad durch eine Turbine ersetzt (Raddatz, 1995). Auch die Turbinenstandorte werden heute nicht mehr genutzt. Tabelle 1 fasst den Artikel mit denen für Wasserkraft relevanten Informationen zusammen. Die Karte im Anhang A zeigt die (ehemaligen) Standorte der Mühlen im heutigen Schweina.

Der Fokus der historischen Betrachtung liegt auf den oberflächigen Wasserrädern und turbinisierten Standorten, da diese bei gleichem Durchfluss höhere Wirkungsgrade erreichen und auf ein starkes Gefälle bzw. eine große Fallhöhe hinweisen (vgl. Kapitel 3.1.2). Dabei sollen Standorte mit ehemals rück- und unterschlächtigen Wasserrädern keineswegs kategorisch ausgeschlossen werden. Eine intensive Betrachtung jeder dieser Standorte würde den Rahmen dieser Arbeit übersteigen. An dieser Stelle sei ebenfalls vermerkt, dass fast alle ehem. Mühlenstandorte heute in Privatbesitz sind. Nach Kenntnis des Autors stellt das Gelände „Pfeifen & Holz“ der ehem. Eichshornmühle eine Ausnahme dar. In den letzten Jahren gingen auch von Seiten der Stadt Bad Liebenstein erste Bestrebungen in Richtung einer Wiederinbetriebnahme von Wasserrädern an alten Mühlenstandorten in dem Ortsteil aus. Der Masterplan „Pfeifen & Holz“ (vgl. Tabelle 1 Nr.9) nennt ein Wasserrad zur Energiegewinnung als ein Entwicklungsziel (Bad Liebenstein, 2021) und die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung zur Wärmeversorgung durch *HKL Ingenieure* enthält ebenfalls eine mögliche Variante mit einem Wasserrad (HKL Ingenieurgesellschaft mbH, 2021). Hieraus geht auch hervor, dass das Gelände der Öffentlichkeit zugänglich sein wird.

Um einen ersten Eindruck von den örtlichen Gegebenheiten zu bekommen, konnte mit drei privaten Mühlenbesitzer:innen Termine vereinbart werden. Ziel des Ortsbesuches war es, sich ein Bild vom Ist-Stand der Gebäude und technischer Überbleibsel zu machen. Auch an diesen Standorten wurden bereits Bestrebungen zur Wiederinbetriebnahme der alten WKAn angestellt.

Wie bereits angedeutet, stand für diese Arbeit kein Equipment zur Verfügung, um vor Ort technische Daten zu erheben. Dennoch wurden Unterlagen zu Anträgen auf alte Rechte (vgl. Kapitel 4.1.2), hydrologische Daten von 1984 (vgl. Kapitel 6.1.2) und Angebote zu Anlagenkomponenten einer WKA mit Wasserrädern zur Verfügung gestellt. An zwei der drei besuchten Standorte sind bereits selbstgebaute Wasserräder ohne stromerzeugenden Generator sowie eine Zulaufrinne und Entlastungsklappe (Schütz) vorhanden.

Ob und inwiefern sich private, potenzielle Anlagen für „pädagogisch, touristische“ Zecke im Sinne der Aufgabenstellung eignen, wird im Rahmen dieser Arbeit nicht bearbeitet. Aus den

folgenden Kapiteln wird hervorgehen, wie sich Potenzial und Nutzungsmöglichkeiten aus technischer und wirtschaftlicher Perspektive als Grundlage für eine Wirtschaftlichkeitsanalyse (Kapitel 7) ergeben.

Tabelle 1: Alte Mühlenstandorte in Bad Liebenstein, OT Schweina (Raddatz, 1995)							
Nr.	Name	Typ	1. Erwähnung	letzte Erwähnung	Standort	Gewässer	heutige Nutzung
1	Lohmühle	-	-	-	1. am Lauf der S.	Schweina	-
2	Pulvermühle	-	1770	1846	Heinzenstr.	Luisenbach	-
3	Wasserrad im Humpfengrund	unterschlächtig	1907	1953	Kisseler Str. 70	Schweina	Wohnraum
4	Lindenmühle	rückschlächtig	17. Jhd	-	Glücksbrunn 4	Höhlenbach	Wohnraum
5	Obermühle	-	19 Jhd.		Glücksbrunn 3	Höhlenbach	-
6	Untermühle	Gebäudekomplex der Kammgarnspinnerei					-
6a	Glücksbrunner Mahlmühle	-	1722	ca. 1810	Glücksbrunner Str. 1A	Höhlenbach	-
6b	Glücksbrunner Hammermühle	-	1736	-			-
6c	Glücksbrunner Lohmühle	Turbine	1722	1970			abgebaut
7	B. C. Mühle/ Pochwerk	unterschlächtig	1722	1937	-	Höhlenbach	abgerissen
8	Kobaltmühle/ Glücksbrunner Farbmühle	rückschlächtig	1714	1995	Glücksbrunner Str. 10	Höhlenbach	stillgelegt
9	Schweinaer Obermühle/ Eichshornmühle	oberschlächtig	1645	1965	Pfeifen & Holz	Höhlenbach	abgebaut
10	Schweinaer Mittelmühle	Francis-Turbine	1671	1989	"Kirchweg"	Schweina	stillgelegt
11	Schweinaer Untermühle	-	1720	1991	"heute Okay-Markt"	Schweina	abgerissen

Tabelle 1: Alte Mühlenstandorte in Bad Liebenstein, OT Schweina (Raddatz, 1995)							
Nr.	Name	Typ	1. Erwähnung	letzte Erwähnung	Standort	Gewässer	heutige Nutzung
12	Obere Papiermühle	-	1555	1980er	Mühlengeweg 9/14	Schweina	abgerissen
13	Untere Papiermühle	-		1930		Schweina	Wohnraum
14	Rasemühle/ Oschmannsche Papiermühle	unter- & ober-schlächtig	1555	1959	Marienthaler Str.37	Schweina	stillgelegt/ Wohnraum
15	Mühle Wenigenschweina	ober-schlächtig	1742	1897	Marienthal	Schweina	-
16	Wasserrad Lux	-	19 Jhd.		Marienthal	Schweina	-

6.1.2 Durchflussmenge Q

Hydrologische Gutachten beinhalten Untersuchungen zur Wassermenge von Grundwasser und Oberflächengewässer. Sie können z.B. auf Grundlage von langjährigen Messreihen oder sog. Niederschlags-Abfluss-Modellen erstellt werden. Weder zur Schweina, zum Altensteiner Höhlenbach noch zum Luisenbach liegen aktuelle Untersuchungen derart vor. Die letzten bekannten Datenerhebungen stammen von 1984 in Form einer Schüttungsmessung und weisen starke Schwankungen in den drei Gewässern auf (Anhang B). Der Luisenbach mündet nördlich der Ortschaft in die Schweina und der Höhlenbach hinter dem Standort der ehemaligen Eichshornmühle (vgl. Karte Anhang A). Während die Messungen des *JfW* vom Juni 1981 bis August 1983 bzw. April 1984 die drei Bäche einzeln darstellt, kumulieren die Messungen der *OFM Suhl* die Durchflussmengen der Schweina unterhalb der Mündungen von Luisen- und Höhlenbach von Juli 1981 bis November 1983 in Barchfeld und Schweina selbst (Anhang B). Nur so sind die unterschiedlichen Messwerte zur gleichen Zeit zu erklären. Die Messreihe „Schweina/ Schweina“ (vgl. Anhang B) wurde digitalisiert, um eine Dauerkurve zu erstellen. Abbildung 12 vergleicht die Jahresganglinien der Schweina und dem Fluss, in den sie mündet – die Werra. Besonders auffällig ist die Differenz im August 1981, welche auf ein Jahrhunderthochwasser zurückzuführen ist. Auch die Werra verzeichnet im Jahr 1981 den höchsten Pegel aller Auguste seit Beginn der Messung (HNZ Thüringen, 2021).

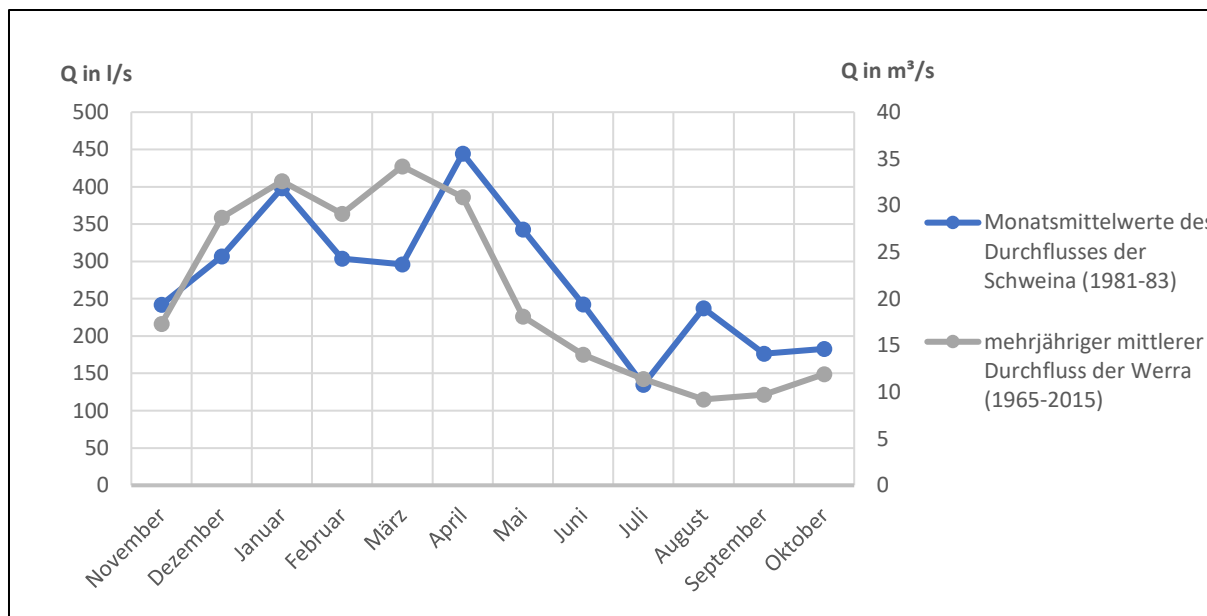


Abbildung 12: Jahresganglinie der Schweina (blau; in l/s) mittels der Schüttungsmessung von 1984 und Werra (grau; in m³/s) mittels Pegeldaten der Hochwassernachrichtenzentrale Thüringen vom Standort Breitungen (HNZ Thüringen, 2021)

Nach der Richtlinie zur Erstellung eines gewässerkundlichen Jahrbuchs sind Hochwasser- und Niedrigwasserereignisse gesondert zu betrachten, was hier für die Schweina auf Grund des Mangels an Daten nicht getan wurde (LAWA, 2017). Dadurch schwanken die Monatsmittelwerte der gemessenen Durchflussmengen der Schweina stärker als die des mittleren Durchflusses der Werra. Der Vergleich zeigt jedoch, dass die Messungen der Schweina durchaus repräsentativ sind. Der Mittelwert der gesamten digitalisierten Messreihe der Schweina liegt bei 264 l/s.

Des Weiteren zeigt die Schüttungsmessung auf, wie stark der Abfluss der Schweina von lokalen Niederschlägen abhängt (vgl. Anhang B). Dieses sog. pluviale Abflussregime ist wichtig zur weiteren Einordnung der Werte. Hierzu soll ein Exkurs zu den Auswirkungen des Klimawandels auf die Wasserkraftnutzungen helfen.

6.1.3 Exkurs: Klimawandel und die Auswirkungen auf die Wasserkraftnutzung

Zum Verständnis der Auswirkungen der fortschreitenden Klimaveränderungen auf die Wasserkraftnutzungen in Deutschland muss zunächst das Verhalten des eben erwähnten pluvialen Flussregimes erläutert werden. Hierzu soll die Beschreibung aus der Studie des Umweltbundesamts von 2012 zum Thema zitiert werden:

„In einem pluvialen Flussregime kommt der Abfluss durch Niederschläge (hauptsächlich Regen) zustande, die innerhalb kurzer Zeit oberflächennah abfließen. Aufgrund der hohen Evapotranspiration⁴ im Sommer findet sich in Deutschland im Spätsommer das Minimum der Abflusskurve, während das Maximum des pluvialen Regimes in den milden, regenreichen

⁴ Evapotranspiration (Begriff aus der Meteorologie) ist die Summe der Verdunstung von Wasser aus der Pflanzen- und Tierwelt.

Wintermonaten liegt.“
(UBA, 2012)

Für den Einfluss auf das Abflussverhalten sind also vor allem Veränderungen der Temperatur und des Niederschlags relevant. Die klimawandelbedingte Zunahme der durchschnittlichen Temperaturen sowohl in den Sommer-, als auch den Wintermonaten beeinflusst die hydrologischen Prozesse zur Entstehung von Niederschlägen. Die Änderungen der Niederschlagsmenge variiert dabei stark in den verschiedenen Klimamodellen auf globaler und regionaler Ebene. Tendenziell ist jedoch von einer Abnahme der Niederschläge im Sommer und einer Zunahme im Winter auszugehen. Damit einher geht die zunehmende Häufigkeit von Extremwetterereignissen wie Hochwasser und Dürreperioden. Als Fazit für pluviale Abflussregime geben die Autoren der Studie eine Steigerung des mittleren Durchflusses an, da die Zunahme der Wassermengen in den Wintermonaten größer sei als die Abnahme in den Sommermonaten (UBA, 2012).

Dagegen sprechen die Daten der *GRACE*-Satelliten, die laut einem Zeitungsartikel der tagesschau (2022) einen Rückgang der Wassermenge in Deutschland verzeichnen. Demnach sollen die Daten durch den Direktor des *Global Institute for Water Security (GWIS)*, Jay Famiglietti ausgewertet werden. Eine wissenschaftliche Studie durch das *GWIS* mit Bezug zum Abflussverhalten europäischer Flüsse sind dem Autor nicht bekannt. Jedoch ergaben die Auswertungen einen globalen Rückgang der ländlichen Frischwasservorkommen, vor allem in Nordindien, dem gesamten Kontinent Amerika, Afrika und Australien (Rodell et al., 2018). Das bedeutet zwar nicht zwangsläufig auch eine Abnahme der Niederschlagsmenge über das Jahr, da bspw. Regen auf ausgetrockneten Böden eher abfließt als ins Grundwasser zu versickern, kann an dieser Stelle aber auch nicht ausgeschlossen werden. Klar ist jedoch, dass es zu Veränderungen kommen wird, die bei der langfristigen Planung einer WKA berücksichtigt werden sollten. Spezifische Überlegungen zum Umgang mit diesen Unsicherheiten werden im Kapitel 6.2 angestellt. Zunächst soll jedoch die Ermittlung des zweiten, wichtigen Eingangsparameters – der Fallhöhe – erläutert werden.

6.1.4 Fallhöhe H

Höhendifferenzen zwischen zwei Punkten im Gelände werden mit Nivelliergeräten bestimmt. Für den Standort der Oschmannschen Papiermühle wurde das Gelände im Rahmen einer Masterarbeit 2013 vermessen und ein Lageplan erstellt (Anhang D). Als Fallhöhe lassen sich hieraus 2,9 m ablesen, mit denen auch in der Beispielrechnung selbiger Arbeit gerechnet wurde. Da für diese Arbeit keines solcher Geräte zur Verfügung stand, wird versucht für die anderen Standorte auf ein Geoinformationssystem (GIS) zurückzugreifen. Mithilfe eines digitalen Geländemodells (DGM) sollen die Höhenunterschiede an den Standorten ermittelt werden. Bevor der Versuch der Methodik mit dem Programm QGIS (Version 3.24.2) ausführlich beschrieben wird, soll die Sensibilität der potenziellen Energieerzeugung in Abhängigkeit der Höhe für unterschiedliche Durchflussmengen aufgezeigt werden (Abbildung 13). Die Abbildung verdeutlicht, dass je höher die Durchflussmenge Q ist, desto sensibler reagiert die Leistung auf Änderungen der Fallhöhe. Aber schon bei geringen Volumenströmen, wie sie bei der Schweina und dem Höhlenbach auftreten bzw. zu erwarten sind, machen bspw. 20 cm einen Unterschied von 200-1000 W aus.

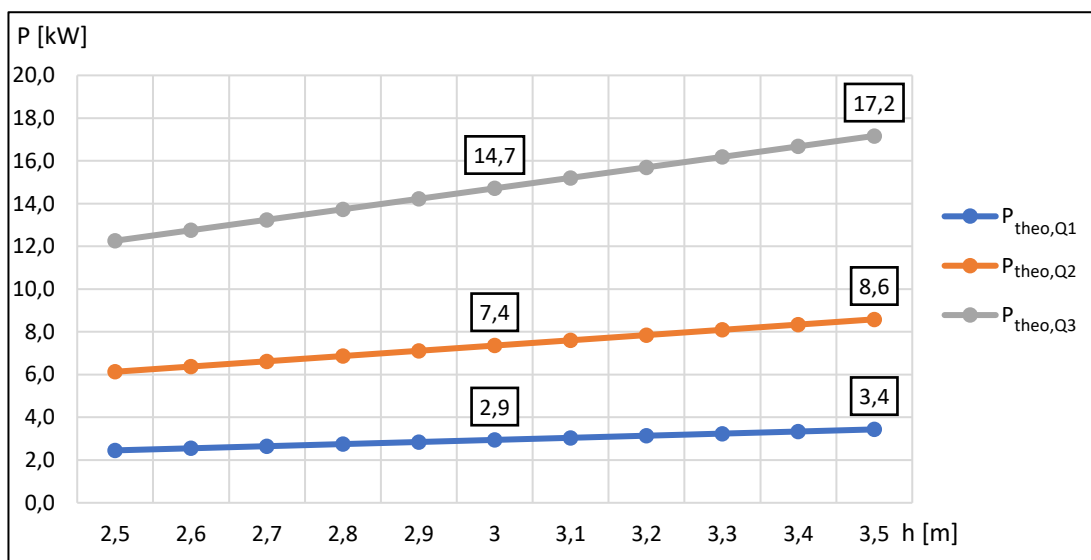


Abbildung 13: Theoretische Leistung P_{theo} für die verschiedenen Durchflussmengen $Q_1 = 100$ l/s (blau); $Q_2 = 250$ l/s (orange) und $Q_3 = 500$ l/s (grau) in Abhängigkeit der Fallhöhe h (eigene Darstellung).

Methodik mit QGIS Vers. 3.24.2

In einem 1x1 m Raster wird das DGM für ganz Thüringen durch das Thüringer Landesamt für Bodenmanagement und Geoinformationen frei zur Verfügung gestellt (TLBG, 2020). Aus den Metadaten der DGM-Dateien geht hervor, dass die Höhenmeter mit einer Genauigkeit von 0,15-0,30 m angegeben sind. Des Weiteren sind Positionen und Verläufe von Oberflächengewässern als ATKIS-DLM (Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem; Digitales Landschaftsmodell) verfügbar (TLBG, 2022). Hierin fehlt vor Allem ein Großteil des Bachverlaufs des Altensteiner Höhlenbachs (vgl. Karte Anhang A). Die alten Mühlenstandorte wurden mit Hilfe des Artikels von Raddatz (1995) als sog. *shape*-Datei (Punkte) durch *Jena-GEOS* eingefügt und nach den Ortsbesuchen teilweise genauer positioniert.

Die Gewässer wurden auf die Quartiersgrenze zugeschnitten und mit einem 5 m Puffer versehen. Das DGM wird mit dem entstandenen Polygon angepasst, um eine geringere und

somit genauere Skala des Höhenverlaufs zu erhalten. Die resultierende Raster-Datei wurde mit dem Werkzeug „Neigung“ weiterbearbeitet, um Höhendifferenzen an den Standorten zu visualisieren. Dabei stellte sich heraus, dass der ATKIS-Verlauf der Schweina an den meisten Mühlenstandorten zu ungenau für das DGM ist, selbst bei einer Verbreiterung des Puffers. Abbildung 14 stellt eine Ausnahme dar. Sie zeigt, dass der Ansatz Potenzial aufweist und Höhenunterschiede mithilfe des DGMs erkannt und gemessen werden können. Der Kartenauszug weist eine starke Neigung am Standort der Kobaltmühle auf (Abbildung 14 oben), welche bei einem Ortsbesuch als Stufe im Bachlauf erkannt wurde (Abbildung 14 unten). Zur Ermittlung der Höhendifferenzen für die alten Mühlenstandorte der Schweina stellt sich die angewandte Methodik als ungeeignet heraus. Bei den Ortsbesuchen konnten keine starken Abweichungen zum ermittelten Höhenunterschied am Standort der Oschmannschen Papiermühle festgestellt werden. Für die weiteren Berechnungen wurden daher plausible Minimal- und Maximalwerte angenommen (vgl. Kapitel 6.2.2).

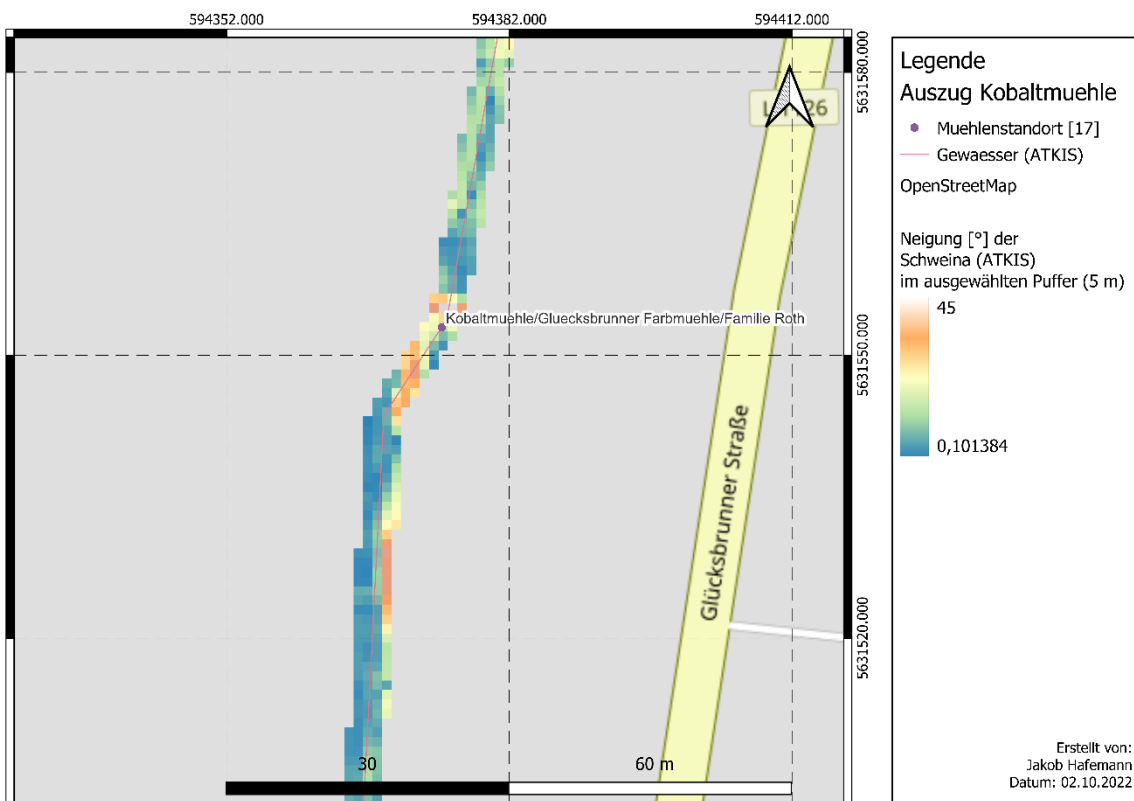


Abbildung 14: Oben: Kartenauszug zum Standort der Kobaltmühle mit Neigungsverlauf des Höhlenbachs; Unten: Foto vom Gefälle an der Kobaltmühle (eigenes Foto vom 02.09.2022)

6.2 Potenzial und Nutzungsmöglichkeiten

Die vorgehenden Kapitel haben aufgezeigt, dass im Quartier Schweina und ihren Fließgewässern ausschließlich niedrige Fallhöhen ($< 5 \text{ m}$) und geringe Durchflüsse ($< 1 \text{ m}^3/\text{s}$) zu erwarten sind. Nur die Sanierung eines alten Mühlenstandorts ist aus genehmigungsrechtlicher Perspektive möglich. Daraus ergibt sich für die folgenden Berechnungen eine WKA mit einem überschlächtigen Wasserrad. Dieser Typ von hydraulischen Strömungsmaschinen wird entlang der Schweina als am sinnvollsten gesehen, da es nicht nur entsprechend der Aufgabenstellung (Kapitel 1.1) die Historie der Ortschaft am stärksten widerspiegelt, sondern auch aus ökologischer Perspektive (Kapitel 4.3) die umweltfreundlichste Alternative darstellt.

Hierzu werden im Folgenden tiefergehende Überlegungen angestellt und im Anschluss der Gesamtwirkungsgrad η_{ges} der Anlage berechnet. Abschließend wird in Kapitel 6.2.2 ein möglicher Korridor resultierend aus minimal und maximal zu erwartender Werte aufgemacht, in dessen Leistungsbereich eine jede geplante Standortsanierung hinzu einer energieerzeugenden WKA in Schweina liegen wird.

Das theoretische Potenzial P_{theo} einer WKA, lässt sich mit der Gleichung (1) bestimmen (Pálffy, 2014).

$$P_{\text{theo}} = Q \cdot H \cdot \rho_{H_2O} \cdot g \quad (1)$$

Mit Q – Durchflussmenge [m^3/s], ρ_{H_2O} – Dichte von Wasser [kg/m^3], H – Fallhöhe [m], g – Erdbeschleunigung [m/s^2].

Die Ausführungen zur Durchflussmenge im Zusammenhang mit dem Klimawandel haben gezeigt, dass eine eindeutige Prognose schwierig ist. Unklar ist auch, wie viel Wasser auf Grund der Mindestwasserreglung (vgl. Kapitel 4.1.3) nicht zur Energieerzeugung genutzt werden kann. Vor allem in den trockenen Spätsommermonaten ist ein dauerhafter Stillstand der WKA nicht auszuschließen.

In Anbetracht der vielen Unsicherheiten, ist es sinnvoll ein Maximum und ein Minimum festzulegen, in dessen Spannweite sich die möglichen Erträge und Kosten abbilden lassen. Für die Berechnungen dieser zu erwartenden Stromproduktion und elektrischen Leistung P_{el} , welche sich mit der Gleichung (2) bestimmen lässt, benötigen wir den Wirkungsgrad der gesamten Anlage η_{ges} .

$$P_{\text{el}} = P_{\text{theo}} \cdot \eta_{\text{ges}} \quad (2)$$

6.2.1 Ermittlung des Gesamtwirkungsgrad η_{ges}

Der Wirkungsgrad η einer Anlage ergibt sich nach Gleichung (4) aus dem Quotienten der Nutzenergie E_{ab} und der zugeführten Energie E_{zu} .

$$\eta = \frac{E_{\text{ab}}}{E_{\text{zu}}} \quad (3)$$

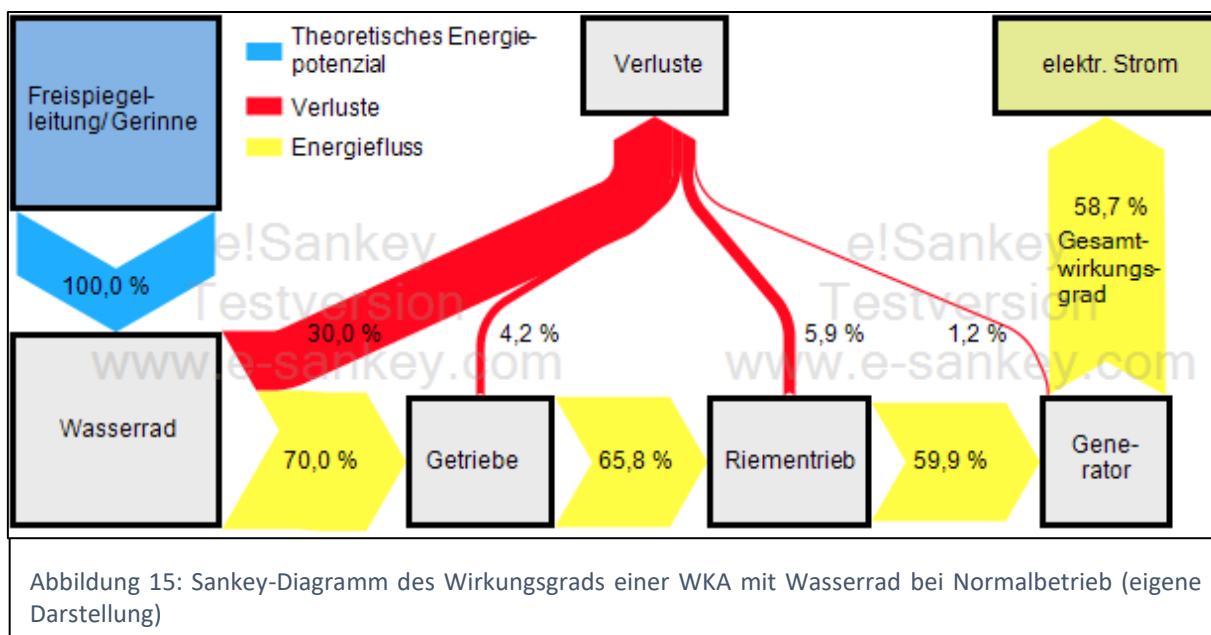
Anders lässt sich der Gesamtwirkungsgrad einer Anlage auch aus dem Produkt der Wirkungsgrade der einzelnen Anlagenkomponenten bestimmen. Dazu zählen das Wasserrad, ein Getriebe mit Riementrieb und der Generator.

Daraus ergibt sich die Gleichung (4):

$$\eta_{ges} = \eta_W \cdot \eta_{Get} \cdot \eta_{Rie} \cdot \eta_{Gen} \quad (4)$$

mit η_W – Wirkungsgrad des Wasserrads, η_{Get} – Wirkungsgrad des Getriebes, η_{Rie} – Wirkungsgrad des Riementriebs und η_{Gen} – Wirkungsgrad des Generators.

Leitungsverluste vom Generator zu den elektrischen Schaltanlagen und zu den letztendlichen Verbrauchern können vernachlässigt werden. Der Großteil der Energieverluste besteht aus Abwärme resultierend aus Reibungsverlusten. Wirkungsgrade lassen sich gut mittels eines Sankey-Diagramms darstellen. Abbildung 15 visualisiert die Verluste der theoretischen Leistung hin zum Gesamtwirkungsgrad der Anlage und demnach der erreichbaren elektrischen Leistung in Prozent. Die Werte der Wirkungsgrade stammen aus einer persönlichen Mitteilung der *Hydrowatt GmbH*. Dieses Unternehmen hat jahrelange Erfahrung mit dem Bau von Wasserrädern und zugehöriger Anlagenkomponenten (Anhang C). Natürlich können größere Wirkungsgrade erreicht werden, wie sie in der Literatur bspw. mit bis zu 70 % angegeben werden (Nuernbergk, 2014). In dieser Arbeit sollen jedoch Werte aus der Praxis angenommen werden. Für die weiteren Berechnung wird daher ein Gesamtwirkungsgrad von $\eta_{ges} = 0,59$ bzw. 59 % angesetzt.



6.2.2 Festlegung der Maximal- und Minimalfälle

Setzt man in die Gleichung (2) der elektrischen Leistung P_{el} die Gleichung (1) der theoretischen Leistung P_{theo} ein, erhält man die Gleichung (5):

$$P_{el} = Q \cdot H \cdot g \cdot \rho_{H2O} \cdot \eta_{ges} \quad (5)$$

Bis auf die Durchflussmenge Q und der Fallhöhe H sind die anderen Werte auf der rechten Seite der Gleichung zunächst als konstant zu betrachten. Nach den Ausführungen in den Kapiteln 6.1.2 und 6.1.4 zu den Eingangsparametern werden die Minimal- und Maximalwerte gemäß Tabelle 2 angenommen. Zur Bestimmung der elektrischen Jahresarbeit W_{el} wird die elektrische Leistung P_{el} entsprechend der Gleichung (6) mit den Volllaststunden t_V multipliziert.

$$W_{el} = P_{el} \cdot t_v \tag{6}$$

Die Volllaststunden ist die Zeit im Jahr, in der eine Anlage ihre entsprechende Nennleistung erbringt. Da bei einer realen Anlage auch die Fallhöhe konstant ist, hängen die Volllaststunden nur noch von der Durchflussmenge ab. Anhand hydrologischer Daten wird analysiert, an wie vielen Tagen im Jahr die entsprechende Durchflussmenge (oder mehr) zum Erreichen der Nennleistung zu erwarten ist. Dabei kann davon ausgegangen werden, je höher die Durchflussmenge angesetzt ist, desto kleiner sind die Volllaststunden. Für Schweina werden Volllaststunden zwischen 5.000 und 6.000 Stunden angenommen.

Tabelle 2: Minimal- und Maximalwerte der Durchflussmenge Q, der Fallhöhe H sowie den Volllaststunden t_v mit den resultierenden Werten für die elektrische Leistung P_{el} und der Jahresarbeit W_{el}; Wirkungsgrad η_{ges} = 0,59

Fall	Q [m³/s]	H [m]	P _{el} [kW]	t _v [h/a]	W _{el} [kWh/a]
Maximum	0,35	4	7,6	6.000	45.322
Minimum	0,15	2,5	2,0	5.000	10.117

6.2.3 Nutzungsmöglichkeiten und Autarkiegrad

Der Energiebedarf eines Gebäudes hängt stark von seiner Nutzung ab. Dabei werden Gebäude grundsätzlich in Wohngebäude (Privathaushalte) und Nicht-Wohngebäude (Bürogebäude, Krankenhaus usw.) unterschieden. In diesem Kapitel sollen die Nutzungsmöglichkeiten der erzeugten Energie für Privathaushalte aufgezeigt werden, dessen Strombedarf insbesondere nach den verbrauchenden Geräten z.B. zur Warmwasseraufbereitung oder Raumwärmeerzeugung variiert. Der durchschnittliche Stromverbrauch eines Privathaushalts⁵ in Deutschland liegt bei ca. 2800 kWh/a (BDEW, 2022). Somit könnte die produzierte Energiemenge über das Jahr den Stromverbrauch von drei bis 16 (Tabelle 2 Minimal- und Maximalfall) Haushalten decken. Dies gilt jedoch nur bei entsprechend durchgehender Durchflussmenge bzw. dem Stromverbrauch innerhalb der Volllaststunden der Anlage. Unter der Annahme, dass bei langanhaltendem Niedrigwasser von unter 100 l/s alles dem Mindestwasser zugeführt werden muss, kann für die Zeit auf ein Batteriespeicher zurückgegriffen werden. Hierzu kann die Anlage so konzipiert werden, dass auftretende Starkregenereignisse optimal ausgenutzt werden, da der Wirkungsgrad von Wasserrädern schon bei 10-15 % Beaufschlagung sein Maximum erreicht (Pálffy, 2014). Daraus resultiert die Dimensionierung des Wasserrads für größere Durchflussvolumina bis zu ca. 1 m³/s, welche höhere Kosten zur Folge hat. Der Batteriespeicher muss zum Erreichen eines Autarkiegrades von 100 % für eine Trockenzeit von bis zu 30 Tagen ausgelegt werden. Bei einem täglichen Verbrauch eines Haushalts von durchschnittlich ca. 8 kWh/d und aktuellen Anschaffungskosten von ca. 1.000 €/kWh-Batteriespeicher würde dies eine zusätzliche Investition von 240.000 € bedeuten, was den Kostenaufwand für die WKA deutlich übersteigt (vgl. Kapitel 7.1; Kost, 2021). Ohne Speicher würde im vorangestellten bereits ein Autarkiegrad von 80-90 % (bezogen auf den Stromverbrauch) erreicht werden.

⁵ bezogen auf die Anzahl der Wohnungen in Wohn- und Nichtwohngebäuden (BDEW (2022)).

Wasserkraft verhält sich zur Photovoltaik (PV) azyklisch. D.h. während die Energiegewinnung aus Wasserkraft in den Sommermonaten gering ist, ist die einer PV-Anlage hoch und andersherum. Ob die Investition in eine PV-Anlage wirtschaftlich zu einem Speicher bevorzugt werden sollte, um einen höheren Autarkiegrad zu erreichen, wird im Rahmen dieser Arbeit nicht betrachtet.

Nach § 40 EEG 2021 beträgt die Einspeisevergütung für WKAn mit einer Bemessungsleistung bis einschließlich 500 kW 12,15 ct/kWh. Demnach würde der jährliche Umsatz aus der Überschusseinspeisung eines Haushalts, d.h. ohne Kosten durch das Beziehen von Strom aus dem Netz zu berücksichtigen, zwischen 1.000 € und 5.500 € liegen. Eine tiefergehende Wirtschaftlichkeitsanalyse soll im folgenden Kapitel anhand der Annuitätsmethode durchgeführt werden.

7 Wirtschaftlichkeitsanalyse nach VDI 2067

Für Wirtschaftlichkeitsanalysen gibt es eine Vielzahl von Methoden. Für die Investition in eine Kleinwasserkraftanlage im Aufwandsbereich von ca. 100.000 € empfiehlt sich die Annuitätsmethode nach VDI 2067-1. Dies ist immer nur eine Momentaufnahme. Zukünftige Kostenentwicklungen der benötigten Materialien und Leistungen können nur bedingt berücksichtigt werden. Auf Grund der aktuellen Unsicherheiten in der politischen und energiewirtschaftlichen Situation, sind die Berechnungen in Kapitel 7.1 als nicht belastbar zu betrachten, geben doch unter „normalen“ Umständen eine Idee zur Wirtschaftlichkeit der berechneten Beispielanlagen (Anhang E). Der digitalen Version dieser Arbeit liegt ein Excel-Tool bei, mit dem alle Auswirkungen durch neue Erkenntnisse aus hydrologischen Gutachten, Geländevermessungen und Mindestwasserauflage sowie stabileren Zinssätzen und konkreteren Angeboten berechnet werden können. Dadurch können auch andere Entscheidung hinsichtlich der Technologie berücksichtigt werden, da die Formel zur Leistungsermittlung [Gleichung (5)] die gleiche ist und lediglich der Wirkungsgrad angepasst werden muss. Im folgenden Abschnitt wird erläutert, wie die Annuitäten nach VDI 2067-1 zu berechnen sind.

7.1 Kostenermittlung und Annuität

Zur Kostenermittlung liegt ein aktuelles Musterangebot der Firma *HydroWatt GmbH* vor (Anhang C). Dieses wird im folgenden Abschnitt ausführlich erläutert und um einige andere Kosten, wie z.B. Kosten für den Netzanschluss, ergänzt. Die Kosten für ein hydrologisches Gutachten werden nicht berücksichtigt, da ein solches durchaus von dritter Stelle erstellt bzw. nicht von einem Projektträger allein getragen werden könnte. Dennoch können die Kosten dafür im beiliegenden Excel-Tool Berücksichtigung finden. Überschlägig können für ein hydrologisches Gutachten 10.000 € veranschlagt werden (Schmidt, *Jena-GEOS*, Anhang C) Als **Betrachtungszeitraum** wird eine Dauer von **30 Jahren** festgelegt. Ziel ist es aus der errechneten Annuität, die Stromgestehungskosten in ct/kWh für diesen Zeitraum zu berechnen.

Die Kosten werden nach kapital-, bedarfs- und betriebsgebundenen sowie sonstigen Kosten unterschieden. Zu den **kapitalgebundenen Kosten** zählt die Anschaffung der Anlagenkomponenten sowie deren Erneuerung innerhalb des Betrachtungszeitraums. D.h. einige Komponenten der WKA haben eine kürzere Nutzungsdauer als die des Betrachtungszeitraums. Die Angaben zur Nutzungsdauer können dem Anhang der Richtlinie

oder den AfA-Tabellen des BMF (1995) entnommen werden. Für die Ersatzbeschaffungen wird der jeweilige **Barwert** A_n nach Gleichung (7) bestimmt.

$$A_n = A_0 \frac{r^{n \cdot T_N}}{q^{n \cdot T_N}} \quad (7)$$

Mit A_0 – Investitionsbetrag (jetzt), T_N – Zahl der Jahre der Nutzungsdauer der Anlagenkomponente, n – Anzahl der Ersatzbeschaffung innerhalb des Betrachtungszeitraums, r – Preisänderungsfaktor und q – Zinsfaktor.

Des Weiteren haben die einzelnen Anlagenkomponenten am Ende des Betrachtungszeitraum einen Restwert, der sich je nach Nutzungsdauer auf die Anfangsinvestition ($T_N \geq T$) oder die letzte Ersatzbeschaffung bezieht. Der **Restwert** R_W ergibt sich durch lineare Abschreibung bis zum Ende des Betrachtungszeitraums und Abzinsung auf den Beginn des Betrachtungszeitraums gemäß Gleichung (8):

$$R_W = A_0 \cdot r^{n \cdot T_N} \cdot \frac{(n + 1) \cdot T_N - T}{T_N} \cdot \frac{1}{q^T} \quad (8)$$

Zur Bestimmung der Annuität der kapitalgebundenen Kosten wird der **Annuitätsfaktor** a benötigt. Er errechnet sich nach Gleichung (9):

$$a = \frac{q^T \cdot (q - 1)}{q^T - 1} = \frac{q - 1}{1 - q^T} \quad (9)$$

Dieser findet auch bei den Berechnungen der laufenden Kosten Anwendung. Die Annuität der **kapitalgebundenen Kosten** $A_{N,K}$ lässt sich nun aus Gleichung (10) bestimmen.

$$A_{N,K} = (A_0 + A_1 + A_2 + \dots + A_n - R_W) \cdot a \quad (10)$$

Preisänderungen bei den laufenden Kosten (betriebs- und bedarfsgebundene K.) während des Betrachtungszeitraums werden mit dem preisdynamischen Barwertfaktor b berücksichtigt. Er ergibt sich aus Gleichung (11):

$$b = \frac{1 - \left(\frac{r}{q}\right)^T}{q - r} \quad (11)$$

Für $r=q$ gilt $b=T/q$. Die laufenden Kosten sind mit dem Barwert- und Annuitätsfaktor zu multiplizieren. Da es je nach Bereich (Personal, Betriebsstoffe etc.) zu unterschiedlichen Veränderungen im Preis kommt, gibt es mehrere Barwertfaktoren, wie z.B. in Gleichung (12). Die Preisänderungen können entsprechend ihrer Kategorie auf der Internetseite des Statistischen Bundesamts (*DESTATIS*) abgerufen werden.

Betriebsgebundene Kosten durch Wartungskosten und kleinere Reparaturen werden im Beispiel mit den Ersatzbeschaffung von Antriebseinheit (Getriebe+ Riementrieb), Stopfbuchsenabdichtung und hydr. Entlastungsklappe nach entsprechend kürzerer Betriebsdauer ausreichend berücksichtigt und sind so gesehen in den kapitalgebundenen

Kosten enthalten. Direkte Personalkosten sollten durch das Betreiben einer derartig kleinen WKA nicht entstehen.

Im Excel-Tool können sie dennoch mit Gleichung (12) bestimmt werden.

$$A_{N,B} = A_{B1} \cdot a \cdot b_B + A_{IN} \cdot a \cdot b_{IN} \quad (12)$$

$$A_{IN} = A_0 \cdot (f_{Inst} + f_{W+Insp}) \quad (13)$$

Dabei ist

$A_{N,B}$	Annuität der betriebsgebundenen Kosten
A_{B1}	betriebsgebundene Kosten im ersten Jahr für Bedienung
b_B	preisdynamischer Barwertfaktor für betriebsgebundene Kosten
A_{IN}	betriebsgebundene Kosten im ersten Jahr für Instandhaltung
b_{IN}	preisdynamischer Barwertfaktor für Instandhaltung
f_{W+Insp}	Faktor für den Aufwand bei der Wartung und Inspektion
f_{Inst}	Faktor für Aufwand bei der Instandsetzung

Bedarfsgebundene Kosten, die das zweckgebundene Betreiben einer WKA zur Stromerzeugung betrifft, gibt es auch keine. Entstehende Kosten durch Stromverbrauch aus dem Netz bei Stillstand oder Niedriglastbetrieb der WKA werden nicht berücksichtigt. Sie ergeben sich aus dem Produkt der benötigten Energie (hier nur Q_{Strom}), z.B. während eines Stillstands der Anlage in Trockenzeiten und dessen zugehöriger Preis entsprechend der Gleichung (14) für das erste Jahr:

$$A_{V1} = Q_{Strom} \cdot Preis_{Strom} \quad (14)$$

Die **Annuität der bedarfsgebundenen Kosten** $A_{N,V}$ lässt sich dann mit Gleichung (15) berechnen.

$$A_{N,V} = A_{V1} \cdot a \cdot b_V \quad (15)$$

Sonstige Kosten wie Versicherungen, Steuern etc. werden im Beispiel nicht berücksichtigt. Ihre Annuität $A_{N,S}$ wird gleich dem vorangegangenen Ansatz nach Gleichung (16) bestimmt.

$$A_{N,S} = A_{S1} \cdot a \cdot b_S \quad (16)$$

Eine Endkostenzusammenstellung der Investitionskosten ergibt sich prozentual aus dem vorliegenden Musterangebot der *Hydrowatt GmbH* für die Minimal- und Maximalfälle in Tabelle 3.

Tabelle 3: Investitionskosten möglicher WKAn in Schweina; Maximalfall entspricht 100 %, der Minimalfall 50 % des Musterangebots der Hydrowatt GmbH (Anhang C), Kosten für Netzanschluss nach WerraEnergie GmbH (2022)

Pos.	Bezeichnung	Maximalfall	Minimalfall
1	Netzanschluss	1.700,00 €	1.700,00 €
2	Wasserrad + Lager	39.360,00 €	19.680,00 €
3	Antriebseinheit	18.600,00 €	9.300,00 €
4	Generator	2.800,00 €	1.400,00 €
5	Stopfbuchsen-abdichtung	2.900,00 €	1.450,00 €
6	Zulaufrinne mit Tragkonstruktion	9.500,00 €	4.750,00 €
7	hydr. Entlastungsklappe	8.520,00 €	4.260,00 €
8	Schaltanlage/ Steuerung	6.000,00 €	3.000,00 €
9	Montage	17.000,00 €	8.500,00 €
	Summe	106.380,00 €	54.040,00 €

Erlöse aus der WKA lassen sich nur mit einer (Überschuss-) Einspeisung ins Stromnetz erzielen. Wie in Kapitel 6.2.3 erläutert, gibt es eine feste Einspeisevergütung für Strom aus WKAn von 12,15 ct/kWh. Die bedarfsgebundenen Erlöse unterliegen demnach keiner Preisänderung. Ihre Annuität $A_{N,E}$ ergibt sich somit nur aus dem Produkt der Erlöse im ersten Jahr E_1 und dem Annuitätsfaktor nach Gleichung (17).

$$A_{N,E} = E_1 \cdot a \quad (17)$$

Kapitalgebundene Erlöse, z.B. durch Zuschüsse (vgl. Kapitel 7.3) werden im Beispiel nicht berücksichtigt. Es sei dennoch bemerkt, dass finanzielle Förderungen und Leistungen aus Eigenkapital die Annuität der Jahresgesamtzahlungen erheblich beeinflussen kann. Des Weiteren können Einsparungen durch den Eigenverbrauch der erzeugten Energie und somit weniger Ausgaben im Stromeinkauf auf Grund des z.Zt. sehr unsicheren Strompreises nicht belastbar berechnet werden.

Abschließend kann mit der Differenz aus der Annuität der Erlöse und der Summe der Annuitäten der soeben beschriebenen Kosten die **Gesamtannuität** A_N der Anlage berechnet werden:

$$A_N = A_{N,E} - (A_{N,K} + A_{N,B} + A_{N,V} + A_{N,S}) \quad (18)$$

Nur wenn $A_N > 0$ ist, ist eine energierzeugende Anlage als wirtschaftlich zu betrachten. Wie eingangs bemerkt, kann diese für die beiden Fälle (Maximum und Minimum) nicht vollständig berechnet und beurteilt werden, zumal eine Umsetzung des Projekts, basierend auf weiteren Annahmen, zeitnah erfolgen müsste. Die **Annuität der kapitalgebundenen Kosten** liegt für die berechneten Maximal- und Minimalfälle (vgl. Tabelle 2 und Tabelle 3) und den Betrachtungszeitraum von 30 Jahren zwischen 7.000 €/a und 4.000 €/a (Anhang E).

7.2 Stromgestehungskosten

Als belastbarer Wert sind die Stromgestehungskosten anzusehen, welche sich hier bezogen auf die Annuität der kapitalgebundenen Kosten zwischen **16 ct/kWh** (Maximalfall) und **42 ct/kWh** (Minimalfall) belaufen (Anhang E). Die Werte beruhen auf der Annahme eines Zinses von 5 % und einer jährlichen Preisänderung von 3 % sowie dem jährlichen Stromertrag gemäß Tabelle 2 mit entsprechenden Annahmen zur Durchflussmenge und Fallhöhe.

Beide Werte liegen unter den getroffenen Annahmen über der Einspeisevergütung von 12,15 ct/kWh. Es wird auch deutlich, dass die Stromgestehungskosten mit der Größe der Anlage sinken. Dies zeigt auch eine Marktanalyse von Keuneke (2015) mit zugehöriger Abbildung 16.

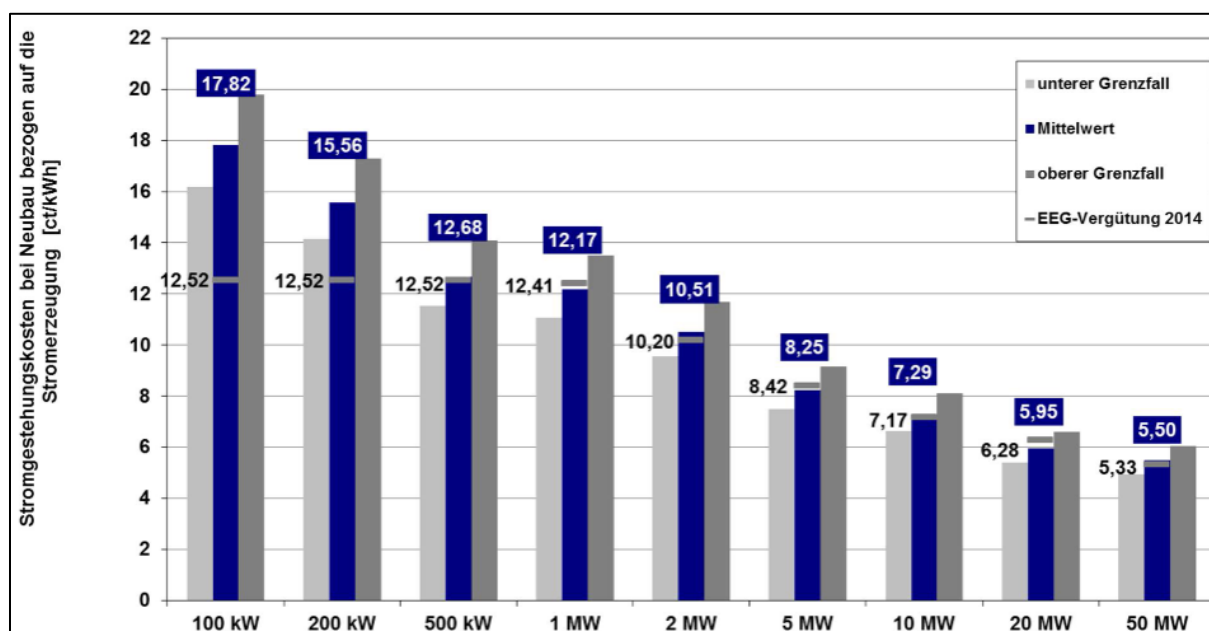


Abbildung 16: Vergleich von Stromgestehungskosten und Vergütung nach EEG 2014 beim Neubau von WKAn bezogen auf die installierte Leistung, Inbetriebnahme 2015 (Keuneke, 2015).

Von einem Vergleich zu den Stromgestehungskosten anderer Energieträger wird an dieser Stelle abgesehen, da sie sich auf Grund ihrer Abweichungen in der Berechnung und dem Nichteinbeziehen externalisierter Kosten (z.B. Umweltschäden) sowie staatlicher Förderungen, wenn überhaupt nur näherungsweise vergleichbar sind (Die Wissenschaftlichen Dienste des Deutschen Bundestages, 2022).

Abschließend sei die „Marktanalyse Wasserkraft“ vom BMWI (2015) zur Gegenüberstellung von Stromgestehungskosten und EEG-Vergütungssätzen zitiert:

„Aus der Gegenüberstellung der ermittelten Stromgestehungskosten und den EEG-Vergütungssätzen wird deutlich, dass sich der Neubau von kleineren Anlagen (100 bis 200 kW) unter den getroffenen Annahmen nicht wirtschaftlich darstellen lässt. Der dennoch zu beobachtende Zubau in dieser Leistungsklasse deutet daraufhin, dass die [Betreiberinnen und] Betreiber bei ihrer Investitionsentscheidung andere bzw. zusätzliche Kriterien berücksichtigen und im Einzelfall sehr günstige Randbedingungen vorhanden sind (längere Nutzungsdauer, geringe Eigenkapitalverzinsung wird akzeptiert, steuerliche Abschreibungsmöglichkeiten, krisensichere Kapitalanlage, kostengünstiger Zugang zu den erforderlichen Grundstücken, etc.).“

Fest steht also, dass sich die Investitionen in die Sanierung eines alten Mühlenstandorts in Schweina nur durch Schaffung eben genannter günstiger Randbedingungen wirtschaftlich rechnet. Bspw. halbieren sich die Stromgestehungskosten von 42 auf 22 ct/kWh bzw. von 16 auf 7 ct/kWh, wenn davon ausgegangen wird, dass Wasserrad, Zulauftrinne und hydraulische Entlastungsklappe noch bestehen oder zumindest deutlich geringere Sanierungskosten verursachen, wie es bei der Oschmannschen Papiermühle der Fall ist.

7.3 Fördermöglichkeiten

Die Förderdatenbank des BMWK (2022c) gibt eine Übersicht zu sämtlichen Fördermöglichkeiten in Deutschland. Tabelle 4 fasst die wenigen Möglichkeiten zur unterstützenden Finanzierung von WKAn in Thüringen zusammen. Die zahlreichen Förderungen hinsichtlich Energieberatung werden hier nicht aufgeführt.

Tabelle 4: Fördermöglichkeiten für WKAn in Thüringen nach BMWK (2022c)					
Name	Förderempfänger	Fördergeber	max. Fördersumme	Art	Forschungsschwerpunkt
Energie vom Land	Unternehmen	Landwirtschaftliche Rentenbank	10 Mio €	Darlehen	nein
Energieforschungsprogramm - Angewandte nichtnukleare Forschungsförderung	Hochschule, Forschungseinrichtung, Unternehmen, Kommune, Öffentliche Einrichtung	BMWK	50 % (Unternehmen); 100 % (Hochschule oder außeruniversitäre Einrichtung)	Zuschuss	ja
KfW-Programm Erneuerbare Energien- Standard	Öffentliche Einrichtung, Privatperson, Unternehmen, Verband/ Vereinigung	KfW Banken-gruppe	50 Mio €	Darlehen	nein

Als plausible Finanzierungsmöglichkeit ist das Darlehen der KfW „Programm Erneuerbare Energien- Standard“ zu betrachten. Die Fördermöglichkeit bietet das Versprechen eines niedrigen Zinssatzes, welcher die Wirtschaftlichkeit der WKA positiv beeinflusst.

8 Fazit & Empfehlung

Die Sanierung eines alten Mühlenstandorts in Schweina ist aus ökologischer Perspektive genehmigungsfähig. Zum Schutz der Aquafauna und insbesondere absteigender Jungfische ist die Verwendung eines Wasserrads zu empfehlen, welches sich auch unter historischen und touristischen Gesichtspunkten ins Ortsbild einfügen würde. Hierzu könnte auch die technische Weiterentwicklung des Turas-Wasserrads mit einseitiger Lagerung genauer betrachtet werden und Anwendung finden.

Ergebnisse

Es ist nicht abschließend zu beurteilen, ob eine Kleinwasserkraftanlage in Schweina wirtschaftlich realisierbar ist. In jeden Fall müsste die Anlage auf einen möglichst hohen Eigenverbrauch in Verbindung mit einer Überschusseinspeisung konzipiert sein. Die Einsparungen durch den Verbrauch selbstproduzierten Stroms lassen sich unter aktuellen politischen und energiewirtschaftlichen Bedingungen auf den Betrachtungszeitraum von 30 Jahren nicht belastbar prognostizieren. Mit den maximal angenommen Werten zur Durchflussmenge ($Q=0,35 \text{ m}^3/\text{s}$) und Fallhöhe ($H=4 \text{ m}$), Investitionskosten A_0 von ca. 100.000 €, einem Zinssatz q von 5 % und einer Preisänderung r von 3 % lassen sich Stromgestehungskosten von 16 ct/kWh erreichen. Die Abrechnungspreise für Strom aus dem Netz müssen dauerhaft darüber liegen, was als durchaus realistisch zu betrachten ist. Von vergleichbaren Investitionen entsprechend des Minimalfalls (mit $Q=0,15 \text{ m}^3/\text{s}$; $H=2,5 \text{ m}$; $A_0=50.000 \text{ €}$ und gleichen Annahmen zu q und r) ist, auf Grund der hohen Stromgestehungskosten mit 42 ct/kWh, abzuraten. An Standorten wie der Oschmannschen Papiermühle und Kobaltmühle sind einige kostenintensive Anlagenkomponenten wie Wasserrad, Zulaufrinne und Entlastungsklappe/ Schütz vorhanden. Die dadurch anzunehmenden geringeren Investitionskosten wirken sich entsprechend positiv auf die Wirtschaftlichkeit aus.

Ausblick

Im Einzelfall müssen detaillierte Daten und Informationen zu folgenden Punkten erhoben werden:

- Durchflussmenge im Rahmen eines hydrologischen Gutachtens
- Fallhöhe durch Geländevermessung mit Nivelliergerät
- genaues Kostenangebot, sobald die Eingangsparameter Q und H festliegen
- konsistente Prognose zu Preisänderungen, insbesondere zur Strompreisentwicklung
- Prüfung konkreter Finanzierungsmöglichkeit mit Eigen- und Fremdkapital mit konkretem Zinssatz

Der digitalen Version dieser Arbeit liegt ein Excel-Tool bei, in dem angenommene Werte aus der Beispielberechnung im Anhang E verändert und deren Auswirkungen auf die Wirtschaftlichkeit und den Energieertrag betrachtet werden können.

9 Quellenverzeichnis

- AGEE-Stat (2022) *Erneuerbare Energien in Deutschland: Daten zur Entwicklung im Jahr 2021* [Online], Dessau-Roßlau (ISSN 2363-829X). Verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/erneuerbare-energien-in-deutschland-0> (Abgerufen am 12 Juni 2022).
- AKTION-FLUSS (2022) *Gewässerschutz in Thüringen | AKTION-FLUSS* [Online]. Verfügbar unter <https://aktion-fluss.de/gewaesserschutz/> (Abgerufen am 27 April 2022).
- ANONYMOUS (1825) „Bessere Benutzung des Aufschlagwassers und des Gefälls bei überschlächtigen Wasserrädern“, *Polytechnisches Journal*, 1825, S. 103–107.
- Arnold, H. (1914) „Der Dieselmotor“, *Die Naturwissenschaften*, Vol. 2, No. 8, S. 180–185.
- Ausonius (370) *MOSELLA*.
- Bach, C. von (1886) *Die Wasserräder*, Stuttgart, Verlag von Konrad Wittwer.
- Bad Liebenstein (2018) „Wasser zu Licht“ – *Das Steinbacher Wasserrad* [Online]. Verfügbar unter <https://rathaus.bad-liebenstein.de/ortsteile/steinbach/steinbach-hat-zukunft/wasserrad/> (Abgerufen am 2 Oktober 2022).
- Bad Liebenstein (2021) *Konzepte - Bad Liebenstein | Rathaus der Stadt: Masterplan "Pfeifen & Holz"* [Online]. Verfügbar unter <https://rathaus.bad-liebenstein.de/rathaus/stadtentwicklung/konzepte/> (Abgerufen am 27 April 2022).
- BDEW (2022) *Durchschnittlicher Haushaltsstromverbrauch*** [Online], Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. Verfügbar unter <https://www.bdew.de/service/daten-und-grafiken/durchschnittlicher-haushaltsstromverbrauch/> (Abgerufen am 8 Oktober 2022).
- BMF (1995) *AfA-Tabelle für den Wirtschaftszweig "Energie- und Wasserversorgung"* [Online], BStBl I 1995, 144. Verfügbar unter https://www.bundesfinanzministerium.de/Content/DE/Standardartikel/Themen/Steuern/Weitere_Steuertemen/Betriebspruefung/AfA-Tabellen/AfA-Tabelle_Energie-und-Wasserversorgung.html (Abgerufen am 11 Oktober 2022).
- BMU (2010) *Potentialermittlung für den Ausbau der Wasserkraftnutzung in Deutschland als Grundlage für die Entwicklung einer geeigneten Ausbaustrategie* [Online], Aachen, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Verfügbar unter https://www.erneuerbare-energien.de/EE/Redaktion/DE/Downloads/Berichte/schlussbericht-potentialermittlung-wasserkraftnutzung.pdf;jsessionid=D02DD7B3FFC1ED7483F90BF4058AC0BA?__blob=publicationFile&v=3.
- BMU (2021) *National Wasserstrategie: Entwurf des Bundesumweltministeriums* [Online], Bonn, BMU-Hausdruckerei. Verfügbar unter https://www.bmuv.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Binnengewasser/langfassung_wasserstrategie_bf.pdf.
- BMWi (2015) *Marktanalyse Wasserkraft* [Online]. Verfügbar unter https://www.erneuerbare-energien.de/EE/Redaktion/DE/Downloads/bmwi_de/marktanalysen-photovoltaik-wasserkraft.pdf;jsessionid=66A4727F82380B4ACAB9D6C975AF43D4?__blob=publicationFile&v=11.

- BMWK (2022a) *Förderprogramme - Fördergrundsätze kleine Wasserkraft* [Online], BMWK. Verfügbar unter <https://www.foerderdatenbank.de/FDB/Content/DE/Foerderprogramm/Land/Baden-Wuerttemberg/foerdergrundsaeetze-kleine-wasserkraft.html> (Abgerufen am 6 September 2022).
- BMWK (2022b) *Förderprogramme - Wasserkraftanlagen* [Online], BMWK. Verfügbar unter <https://www.foerderdatenbank.de/FDB/Content/DE/Foerderprogramm/Land/Bayern/wasserkraftanlagen.html> (Abgerufen am 6 September 2022).
- BMWK (2022c) *Fördersuche* [Online], Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz, Referat Öffentlichkeitsarbeit. Verfügbar unter https://www.foerderdatenbank.de/SiteGlobals/FDB/Forms/Suche/Startseitensuche_Formular.html?cl2Processes_Foerdergebiet=thueringen&submit=Suchen&filterCategories=FundingProgram&templateQueryString=Wasserkraft (Abgerufen am 9 Oktober 2022).
- Buchholz, P. (2013) *Vergleichende Untersuchung der hydraulischen Eigenschaften zwischen Wasserräder und Wasserkraftschnecken am Beispiel der Papiermühle Schweina*, Hochschule Magdeburg-Stendal.
- D. Kircher vom Umweltamt Wartburgkreis (2022) E-Mail Jakob Hafemann, 15. August.
- DESTATIS (2021) *Bruttostromerzeugung in Deutschland* [Online]. Verfügbar unter <https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Energie/Erzeugung/Tabellen/bruttostromerzeugung.html> (Abgerufen am 1 Oktober 2022).
- (1987) „Die Acht mit Herz“, *Badische Zeitung*, 1987.
- Die Wissenschaftlichen Dienste des Deutschen Bundestages (2022) *Gestehungskosten von Strom im Vergleich*.
- DWA (2014) *M 509: Fischaufstiegsanlagen und fischpassierbare Querbauwerke. Gestaltung, Bemessung, Qualitätssicherung.*: DWA.
- DWA-Landesverband Sachsen/Thüringen (Hg.) (2011) *Wasserwirtschaft in Thüringen und Sachsen: Congress Centrum Neue Weimarahalle, Weimar, 18. Mai 2011 ; DWA-Landesverbandstagung Sachsen/Thüringen 2011*, Dresden, DWA-Landesverb. Sachsen/Thüringen.
- Ebel, G (Hg.) (2013) *Fischschutz und Fischabstiegsanlagen an Wasserkraftanlagen: Handbuch Rechen- und Bypasssysteme. Ingenieurbiologische Grundlagen, Modellierung, Prognose, Bemessung und Gestaltung*, Halle (Saale).
- EU KOM (2019) *A European Green Deal: Striving to be the first climate-neutral continent* [Online]. Verfügbar unter https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en (Abgerufen am 12 Oktober 2022).
- FAZ (2015) „China überholt Brasilien: Drei-Schluchten-Staudamm erzielt Weltrekord bei Stromproduktion“, *Frankfurter Allgemeine Zeitung*, 3. Januar [Online]. Verfügbar unter <https://www.faz.net/aktuell/wirtschaft/wirtschaftswissen/china-ueberholt-brasilien-drei-schluchten-staudamm-erzielt-weltrekord-bei-stromproduktion-13351178.html> (Abgerufen am 4 Oktober 2022).
- FGG Weser (2022) *Flussgebietsgemeinschaft Weser* [Online]. Verfügbar unter <https://www.fgg-weser.de/> (Abgerufen am 25 September 2022).

- Freyhof, J. (2009) „Rote Liste der im Süßwasser reproduzierenden Neunaugen und Fische (Cyclostomata & Pisces)“, in Haupt, H. (Hg.) *Rote Liste gefährdeter Tiere, Pflanzen und Pilze Deutschlands*, Erscheinungsort nicht ermittelbar, S. 291–316.
- George, W & Berg, T (Hg.) (2012) *Regionales Zukunftsmanagement*, Lengerich, Papst Science.
- GeP (2016) *Projekt Steinbach: Wasserrad zur Stromerzeugung* (Projektmappe) [Online], Schmalkalden.
- Giesecke, J., Heimerl, S. & Mosonyi, E. (2014) *Wasserkraftanlagen: Planung, Bau und Betrieb*, 6. Aufl., Berlin, Heidelberg, Springer Vieweg.
- Gleisberg, H. (1972) „Geschichte und Technologie der alten Wassermühlen“, *Sächsisches Heimatblatt*, 1972, S. 145–155.
- Hammerl, F., Tietze, J. & Haselbauer, M. (2009) „Schallreduzierung von Wasserkraftschnecken“, in Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik (Hg.) *Wasserkraftnutzung im Zeichen des Klimawandels: Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen 39* [Online], Dresden, S. 389–397. Verfügbar unter <https://hdl.handle.net/20.500.11970/103720>.
- Harten, M. von (2018) *Analyse des Zuppinger-Wasserrades : hydraulische Optimierungen unter Berücksichtigung ökologischer Aspekte*.
- Heimerl, S (Hg.) (2015) *Wasserkraftprojekte Band II: Ausgewählte Beiträge aus der Fachzeitschrift WasserWirtschaft*, Wiesbaden, Springer Vieweg.
- Heimerl, S. & Kohler, B. (2013) *Hydraulische Strömungsmaschinen für kleine Durchflüsse und niedrige Fallhöhen*, Mitteilungen des Lehrstuhls und Institutes für Wasserbau der RWTH Aachen 167.
- Hennef (2005) *Fischschutz- und Fischabstiegsanlagen: Bemessung, Gestaltung, Funktionskontrolle* [Online], Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.
- HKL Ingenieurgesellschaft mbH (2021) *Sanierung Maßstabwerk und Pfeifenfabrik „Pfeifen und Holz“ Wirtschaftlichkeitsbetrachtung zur Wärmeversorgung: Erläuterungsbericht zur Wirtschaftlichkeitsberechnung*.
- HNZ Thüringen (2021) *Hochwassernachrichtenzentrale Thüringen* [Online]. Verfügbar unter https://hnz.thueringen.de/hw2.0/42007.0_stamm_hnz.html (Abgerufen am 25 September 2022).
- Hoppe, E. (1884) *Geschichte der Elektrizität* [Online], Leipzig, Johann Ambrosius Barth. Verfügbar unter https://books.google.de/books?id=VLBmSdRAraEC&printsec=frontcover&hl=de&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false.
- Hühn, S. (2021) „Die 10 größten Wasserkraftwerke der Welt“, *ingenieur.de - Nachrichtenportal für Ingenieure*, 20. Juli [Online]. Verfügbar unter <https://www.ingenieur.de/technik/fachbereiche/rekorde/die-top-10-groessten-wasserkraftwerke-weltweit/> (Abgerufen am 4 Oktober 2022).
- Hydro-Connect GmbH (2022) *Stromproduzierende Fischwanderhilfe* [Online]. Verfügbar unter <https://hydroconnect.at/stromproduzierende-fischwanderhilfe> (Abgerufen am 13 September 2022).

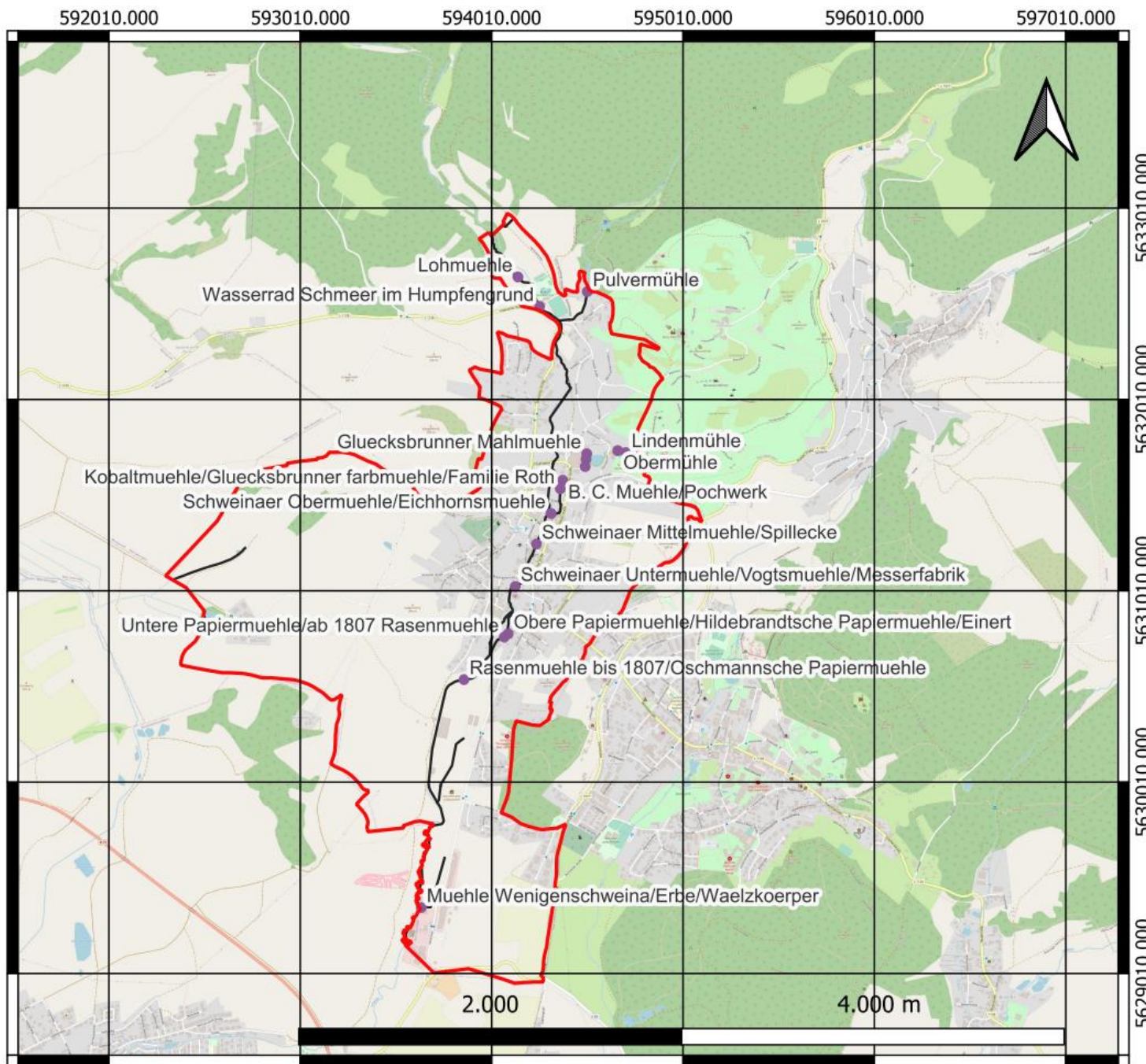
- Hydroshaft (2022) *Hydroshaft GmbH* [Online]. Verfügbar unter <https://hydroshaft.com/> (Abgerufen am 17 Oktober 2022).
- IPCC (2022) *Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change: Working Group III Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Online]. Verfügbar unter <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/> (Abgerufen am 12 Juni 2022).
- Karl Marx (1867) *Das Kapital*.
- Keuneke, R. (2015) *Marktanalyse zur Vorbereitung von Ausschreibungen* [Online]. Verfügbar unter <https://www.wasserkraft-deutschland.de/fileadmin/PDF/marktanalysen-studie-wasserkraft.pdf>.
- Keuneke, R. (2019) „Wasserkraft im EEG – Aktueller Stand“, *Wasserkraft & Energie*, 2019, S. 60–64 [Online]. Verfügbar unter https://www.floecksmuehle-fwt.de/userfiles/fileadmin-ibfm/Publikationen/Artikel_Wasserkraft___Energie_2019_Wasserkraft_im_EEG-Aktueller_Stand.pdf.
- Klagge, B & Arbach, C (Hg.) (2013) *Governance-Prozesse für erneuerbare Energien* [Online], Hannover, ARL Akad. für Raumforschung und Landesplanung. Verfügbar unter <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0156-37935>.
- Kost, C. (2021) *Stromgestehungskosten erneuerbare Energien*, Fraunhofer ISE [Online]. Verfügbar unter <https://www.ise.fraunhofer.de/de/veroeffentlichungen/studien/studie-stromgestehungskosten-erneuerbare-energien.html>.
- Kreutzer, C., Thees, F. & Eder, L. (2022) „Rhein, Ahr und Dreisam: So erschreckend sehen unsere Flüsse aus“, *SWR3-online*, 12. August [Online]. Verfügbar unter <https://www.swr3.de/aktuell/nachrichten/fotos-niedrigwasser-rhein-ahr-dreisam-bw-rlp-102.html> (Abgerufen am 17 Oktober 2022).
- Lashofer, A., Hawle, W. & Pelikan, B. (2015) „Betriebsbereiche und Wirkungsgrade der Wasserkraftschnecke, Wasserkraftprojekte Band II: Ausgewählte Beiträge aus der Fachzeitschrift ...“, in Heimerl, S. (Hg.) *Wasserkraftprojekte Band II: Ausgewählte Beiträge aus der Fachzeitschrift WasserWirtschaft*, Wiesbaden, Springer Vieweg, S. 154–163.
- Laufen, R. (1984) „Historische Entwicklung“, in Laufen, R. (Hg.) *Kraftwerke: Grundlagen, Wärmekraftwerke, Wasserkraftwerke*, Berlin, Springer, S. 1–6.
- LAWA (2017) *DGJ: Richtlinie zur Erstellung und Veröffentlichung des Deutschen Gewässerkundlichen Jahrbuchs im Internet* [Online]. Verfügbar unter https://dgi.de/docs/Richtlinie_DGJ.pdf.
- LAWA (2020) *LAWA Empfehlung zur Ermittlung einer ökologisch begründeten Mindestwasserführung in Ausleitungsstrecken von Wasserkraftanlagen* [Online], München, LAWa (PDB AO 19). Verfügbar unter https://www.lawa.de/documents/lawa_empfehlung_mindestwasserfuehrung_ausleitungsstrecken_wasserkraftanlagen_2_1610718961.pdf.
- LAWA-BLANO Maßnahmenkatalog (2020) *LAWA-BLANO Maßnahmenkatalog (WRRL, HWRMRL, MSRL)*, Bund/länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser and Bund/Länder-Ausschusses Nord- und Ostsee [Online]. Verfügbar unter <https://www.lawa.de/>

- documents/lawa-blano-massnahmenkatalog_1594133389.pdf (Abgerufen am 4 Oktober 2020).
- Malcherek, A., Kulisch, H., Maerker, C. & Baselt, I. (2013) „Die Steffturbine – eine auf einem Umlaufband beruhende Kleinwasserkraftanlage“, in Heimerl, S. (Hg.) *Wasserkraftprojekte: Ausgewählte Beiträge Aus der Fachzeitschrift WasserWirtschaft*, Wiesbaden, Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, S. 319–326.
- Matschoss, C. (1901) *Geschichte der Dampfmaschine*, Berlin, Verlag von Julius Springer.
- Meinig, U. (2013) „Geschichte der Benzin-Direkteinspritzung“, in van Basshuysen, R. & Spicher, U. (Hg.) *Ottomotor mit Direkteinspritzung: Verfahren, Systeme, Entwicklung, Potenzial*, 3. Aufl., Wiesbaden, Springer Vieweg, S. 3–27.
- Michael, S. (2004) *Gewässerkartierung nach der Empfehlung der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA): Anwendung für einen Mittelgebirgsbach im Thüringer Wald (Schweina)*, Bauhaus Universität Weimar, Studienarbeit.
- MJ2 Technologies (2018) *VLH Range - MJ2 Technologies Design and manufacturing of turbogenerator groups for hydro* [Online]. Verfügbar unter <https://www.vlh-turbine.com/products/vlh-turbine/vlh-range/> (Abgerufen am 17 Oktober 2022).
- N. N. (1995) „Pelton-Turbinen für Cleuson-Dixence“, in *Wasserwirtschaft* 85, S. 207–208.
- Niemeyer-Lüllwitz, A. & Zucchi, H. (1985) *Fliessgewässerkunde: Ökologie fliessender Gewässer unter bes. Berücks. wasserbaul. Eingriffe*, Frankfurt am Main, Berlin, Diesterweg.
- Nuernbergk, D. (2013) *Wasserräder mit Kropfgerinne: Berechnungsgrundlagen und neue Erkenntnisse* [Online], 2. Aufl., Detmold, Schäfer. Verfügbar unter https://www.researchgate.net/profile/dirk-nuernbergk/publication/273318875_wasserrader_mit_kropfgerinne_berechnungsgrundlagen_und_neue_erkenntnisse_-_breastshot_water_wheels_basic_calculations_and_new_develoments.
- Nuernbergk, D. (2014) *Wasserräder mit Freihang: Entwurfs- und Berechnungsgrundlagen*, 2. Aufl., Detmold, Schäfer.
- Pálffy, S. (2014) *Wasserkraftanlagen: Klein- und Kleinstkraftwerke ; mit 8 Tabellen*, 7. Aufl., Renningen, expert-Verl.
- Pottgiesser, T. (2018) *Die deutsche Fließgewässertypologie: Zweite Überarbeitung der Steckbriefe der Fließgewässertypen* [Online] (Gewässertypenatlas mit Steckbriefen FKZ 3714 24 221 0). Verfügbar unter https://gewaesser-bewertung.de/files/steckbriefe_fliessgewaessertypen_dez2018.pdf.
- Pusch, M., Arlinghaus, R., Borcharding, J., Borchardt, D., Hering, d., Jähmig, S., Tockner, K., Settele, J. & Weitere, M. (2021) *Memorandum: Energiewende nicht auf Kosten der aquatischen Biodiversität: deutscher Fachwissenschaftler:innen zum politischen Zielkonflikt Klimaschutz versus Biodiversitätsschutz bei der Wasserkraft* [Online]. Verfügbar unter https://www.igb-berlin.de/sites/default/files/media-files/download-files/memorandum_klimaschutz_vs_biodiversitaet.pdf.
- Raddatz, E. (1995) „Schweinaer Mühlengeschichte“, *Altensteiner Blätter*, 1995, S. 129–163.

- Reichholf, J. H. (2010) *Warum die Menschen sesshaft wurden: Das größte Rätsel unserer Geschichte*, Frankfurt am Main, Fischer E-Books.
- REN21 (2010) *Globaler Statusbericht 2010 Erneuerbare Energien* [Online], Paris: REN21 Sekretariat. Verfügbar unter <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.642.1232&rep=rep1&type=pdf>.
- Rodell, M., Famiglietti, J. S., Wiese, D. N., Reager, J. T., Beaudoin, H. K., Landerer, F. W. & Lo, M.-H. (2018) „Emerging trends in global freshwater availability“, *Nature*, Vol. 557, No. 7707, S. 651–659.
- Schmid-Johannsen, J., Lang, U. & Heiliger, N. (2021) *Noch 2 Vermisste - Aktuelle Daten und Fakten* [Online], SWR Aktuell. Verfügbar unter <https://www.swr.de/swraktuell/rheinland-pfalz/flut-in-ahrweiler-so-gross-ist-der-schaden-104.html> (Abgerufen am 17 Oktober 2022).
- Schomaker, C. & Wolter, C. (2016) *Entwicklung eines ökologisch veträglichen, modularen Systems zur Nutzung kleiner Wasserkräfte mit sehr niedrigen Fallhöhen : Teilprojekt Ökologische Durchgängigkeit* [Online], Berlin, IGB Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei, *Entwicklung eines ökologisch veträglichen, modularen Systems zur Nutzung kleiner Wasserkräfte mit sehr niedrigen Fallhöhen*.
- Schönborn, W. (1992) *Fließgewässerbiologie: Mit 23 Tabellen*, Jena, Stuttgart, Fischer.
- Steinhoff, R. & Moosdorf, R. W. (2022) *Antwort auf das „Memorandum“ von Martin Pusch et al. gegen die Kleine Wasserkraft* [Online]. Verfügbar unter https://www.wasserkraft-deutschland.de/fileadmin/user_upload/20220503_Antwort_auf_Memorandum-RS-RWM_04-5.pdf.
- tagesschau (2022) „Folgen des Klimawandels: Deutschland trocknet langsam aus“, *tagesschau.de*, 15. März [Online]. Verfügbar unter <https://www.tagesschau.de/inland/gesellschaft/wasserknappheit-deutschland-101.html> (Abgerufen am 26 September 2022).
- Thamsen, P. (2020) „Wasserturbinen“, in Bender, B., Göhlich, D. & Dubbel, H. (Hg.) *Dubbel Taschenbuch für den Maschinenbau*, 26. Aufl., Berlin, Heidelberg, Springer Vieweg, S. 215–224.
- TLBG (2020) *Download Höhendaten* [Online]. Verfügbar unter <https://www.geoportal-th.de/de-de/Downloadbereiche/Download-Offene-Geodaten-Th%C3%BCrtingen/Download-H%C3%B6hendaten> (Abgerufen am 28 September 2022).
- TLBG (2022) *Download ATKIS Basis-DLM* [Online]. Verfügbar unter <https://www.geoportal-th.de/de-de/Downloadbereiche/Download-Offene-Geodaten-Th%C3%BCrtingen/Download-ATKIS-Basis-DLM> (Abgerufen am 7 Oktober 2022).
- TUM (2022) *Schachtkraftwerk* [Online]. Verfügbar unter <https://www.cee.ed.tum.de/wb/projekte/schachtkraftwerk/> (Abgerufen am 17 Oktober 2022).
- UBA (2012) *Klimafolgen für die Wasserkraftnutzung in Deutschland und Aufstellung von Anpassungsstrategien* [Online], Dessau-Roßlau (Texte 23/2012). Verfügbar unter <http://www.uba.de/uba-info-medien/4288.html> (Abgerufen am 25 September 2022).

- UBA (2015) *Forum „Fischschutz und Fischabstieg“: Empfehlungen und Ergebnisse des Forums* [Online], Dessau-Roßlau (Texte 97/2015). Verfügbar unter https://forum-fischschutz.de/sites/default/files/UBA-Texte_97_2015_forum_fischschutz_und_fischabstieg.pdf.
- UBA (2016) *Die Wasserrahmenrichtlinie – Deutschlands Gewässer 2015* [Online]. Verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/die-wasserrahmenrichtlinie-deutschlands-gewaesser> (Abgerufen am 12 Juni 2022).
- UBA (2022) *Treibhausgas-Emissionen in der Europäischen Union* [Online]. Verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/treibhausgas-emissionen-in-der-europaeischen-union#gase> (Abgerufen am 12 Oktober 2022).
- WerraEnergie GmbH (2022) *Ergänzende Bedingungen zum Netzanschlussvertrag* [Online]. Verfügbar unter <https://www.werraenergie.de/documents/6021286/6313426/Erg%C3%A4nzende+Bedingungen+zum+Netzanschlussvertrag.pdf/e1310a1c-96d9-7562-7d3c-a264948a1e60?download=true>.
- Wolter, C, Bernotat, D, Geßner, J, Brüning, A, Lackemann, J & Radinger, J (Hg.) (2020) *Fachplanerische Bewertung der Mortalität von Fischen an Wasserkraftanlagen: Ergebnisse aus dem F+E-Vorhaben (FKZ 3515 82 3200)*, Bonn, Bundesamt für Naturschutz.
- Zumbrägel, C (Hg.) (2018) *"Viele Wenige Machen ein Viel": Eine Technik- und Umweltgeschichte der Kleinwasserkraft (1880-1930)*, Boston, BRILL.
- Zumbrägel, C. (2016) *"Viele Wenige machen ein Viel"*, Dissertation, Verlag Ferdinand Schöningh.

Anhang A
Karte zum Quartier „Schweina“ (Bad Liebenstein, Thür.) mit
ehemaligen Mühlenstandorten

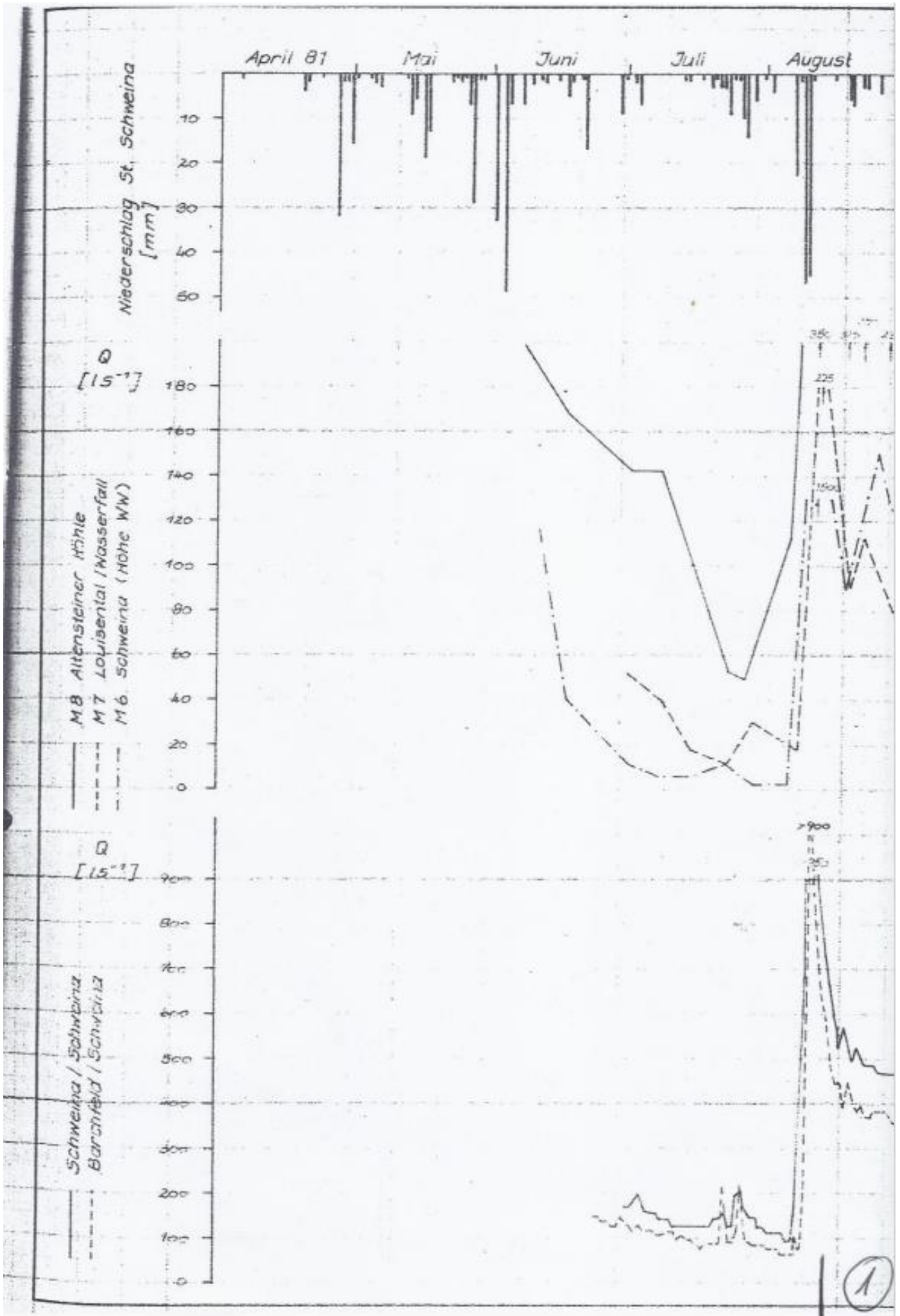


Legende Karte von Schweina

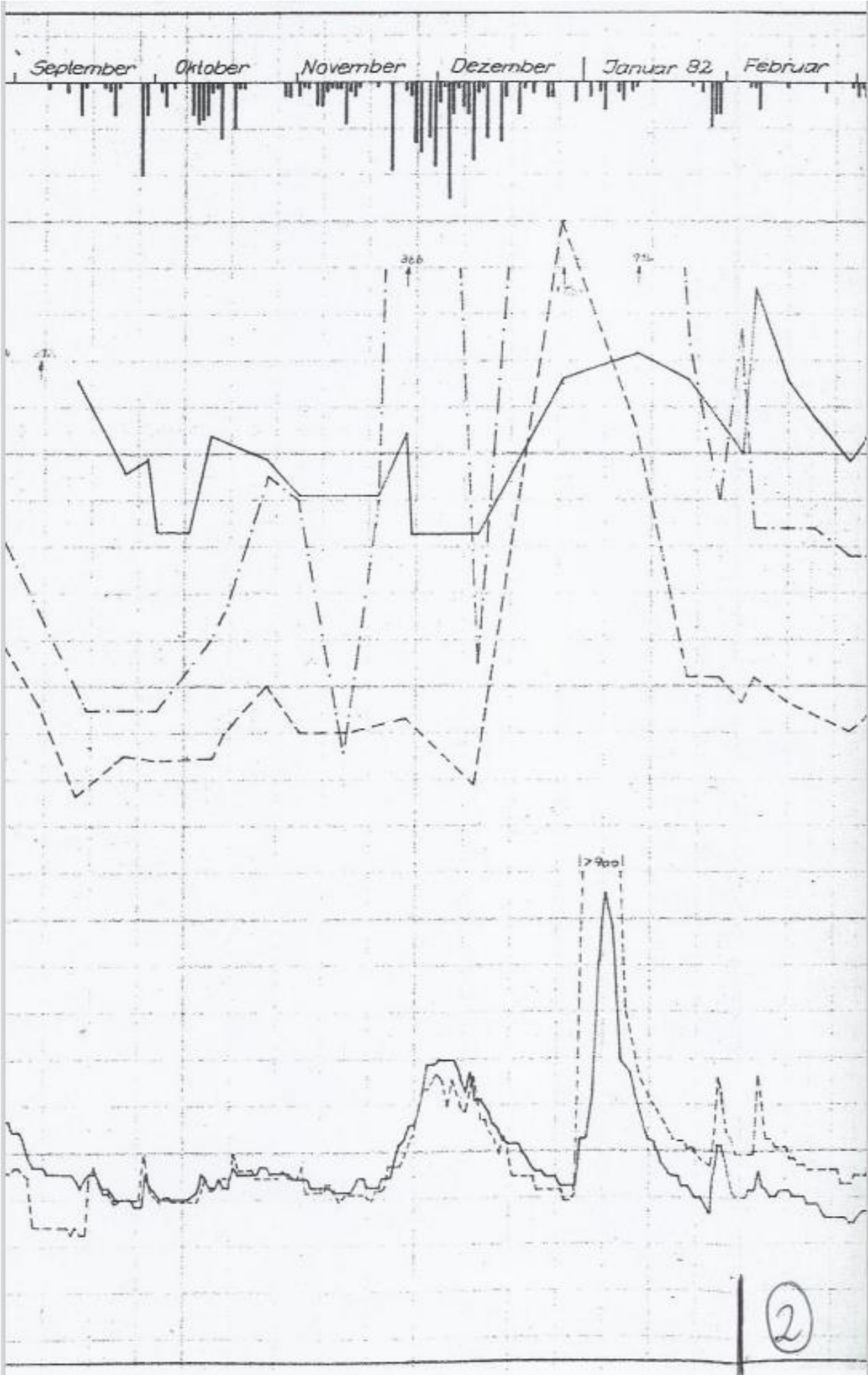
- Quartiersgrenze
 - Muehlenstandort [17]
 - Gewässer
- OpenStreetMap

25/09/2022
Jakob Hafemann

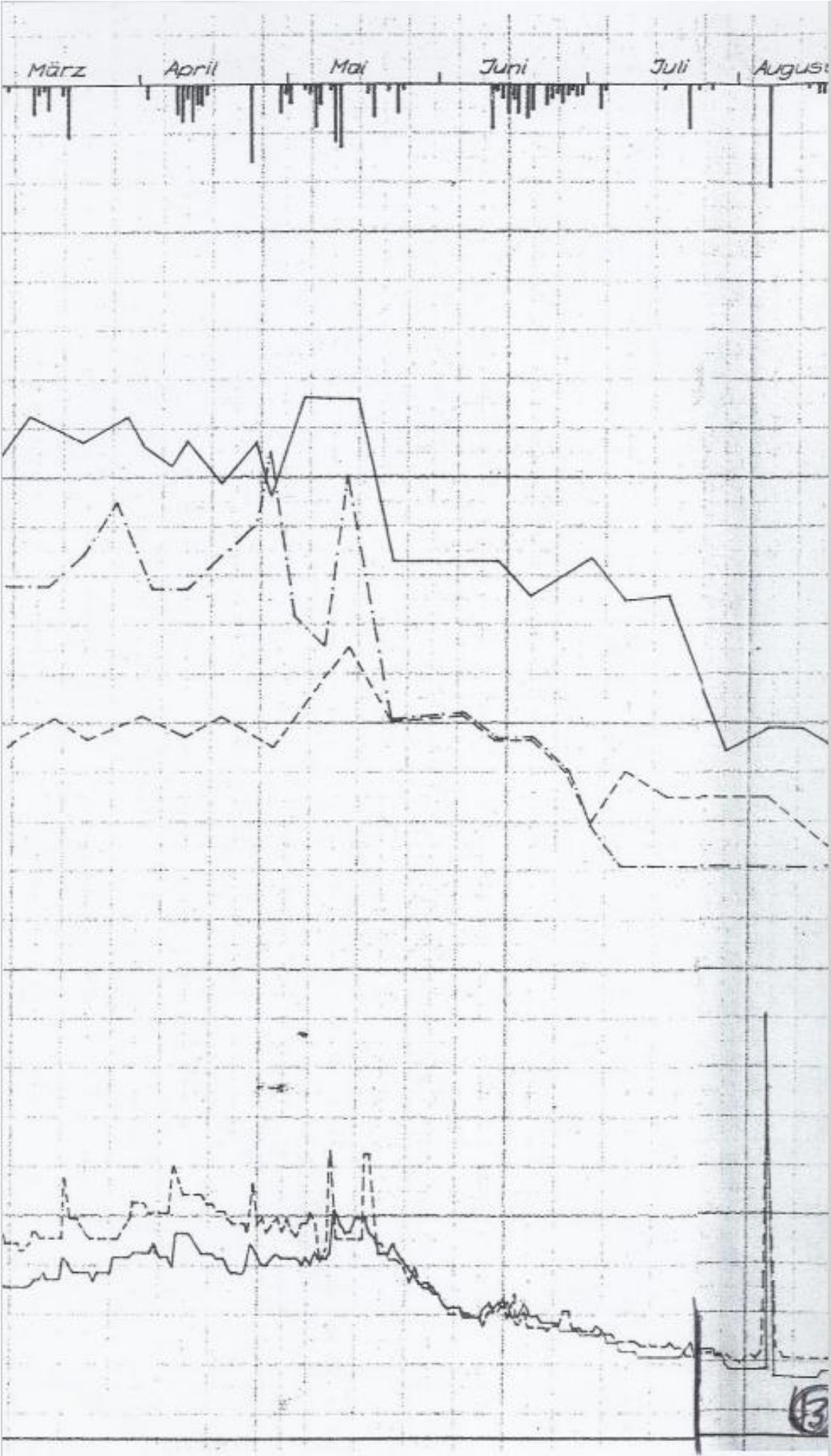
Anhang B
Schüttungsmessung von 1984 mit Auswertung der Messreihe
„Schweina/ Schweina“



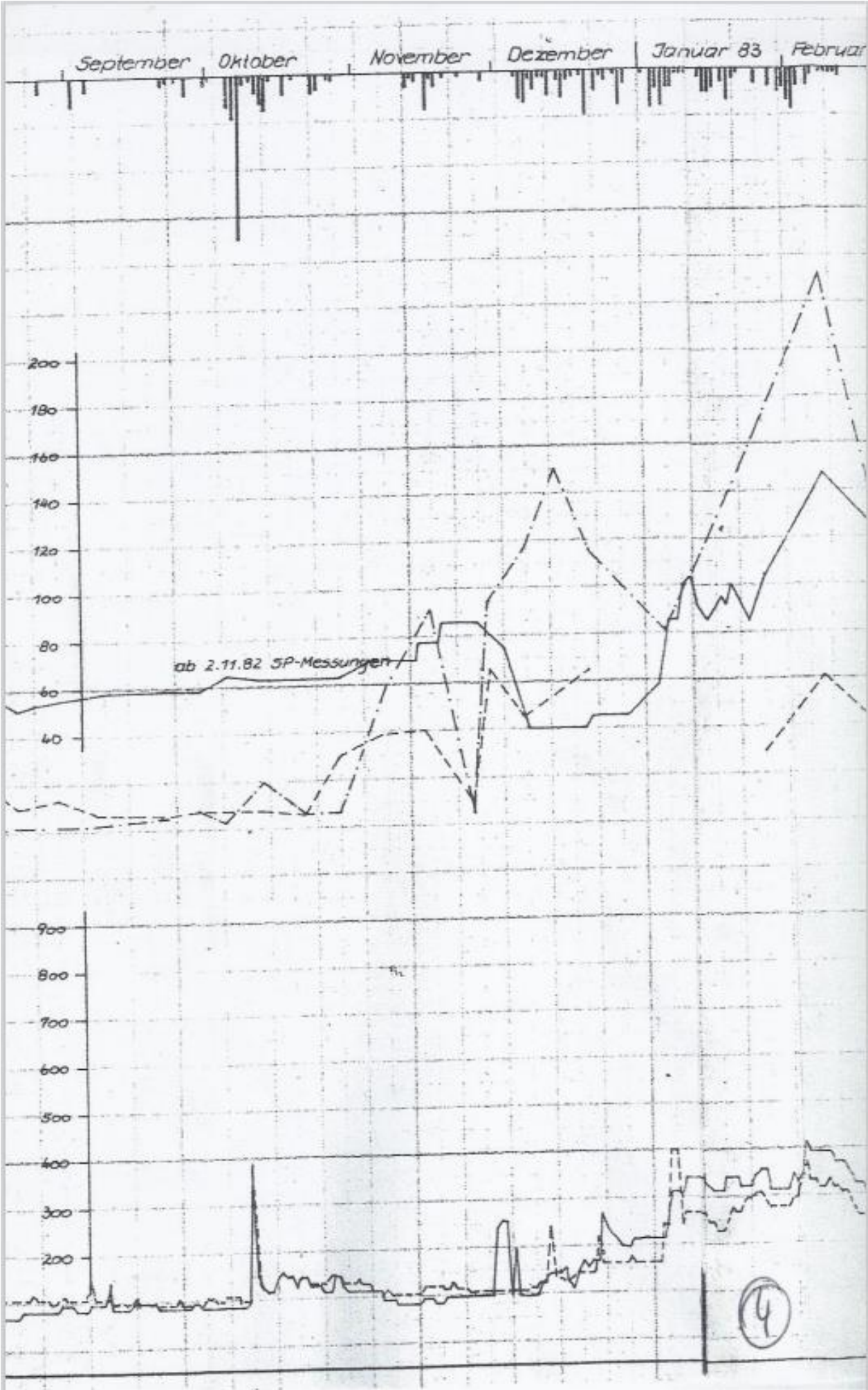
Bachelorarbeit von Jakob Hafemann – Kleinwasserkraftanlage in Schweina – Anhang B: Schüttungsmessung von 1984 mit Auswertung der Messreihe „Schweina/ Schweina“



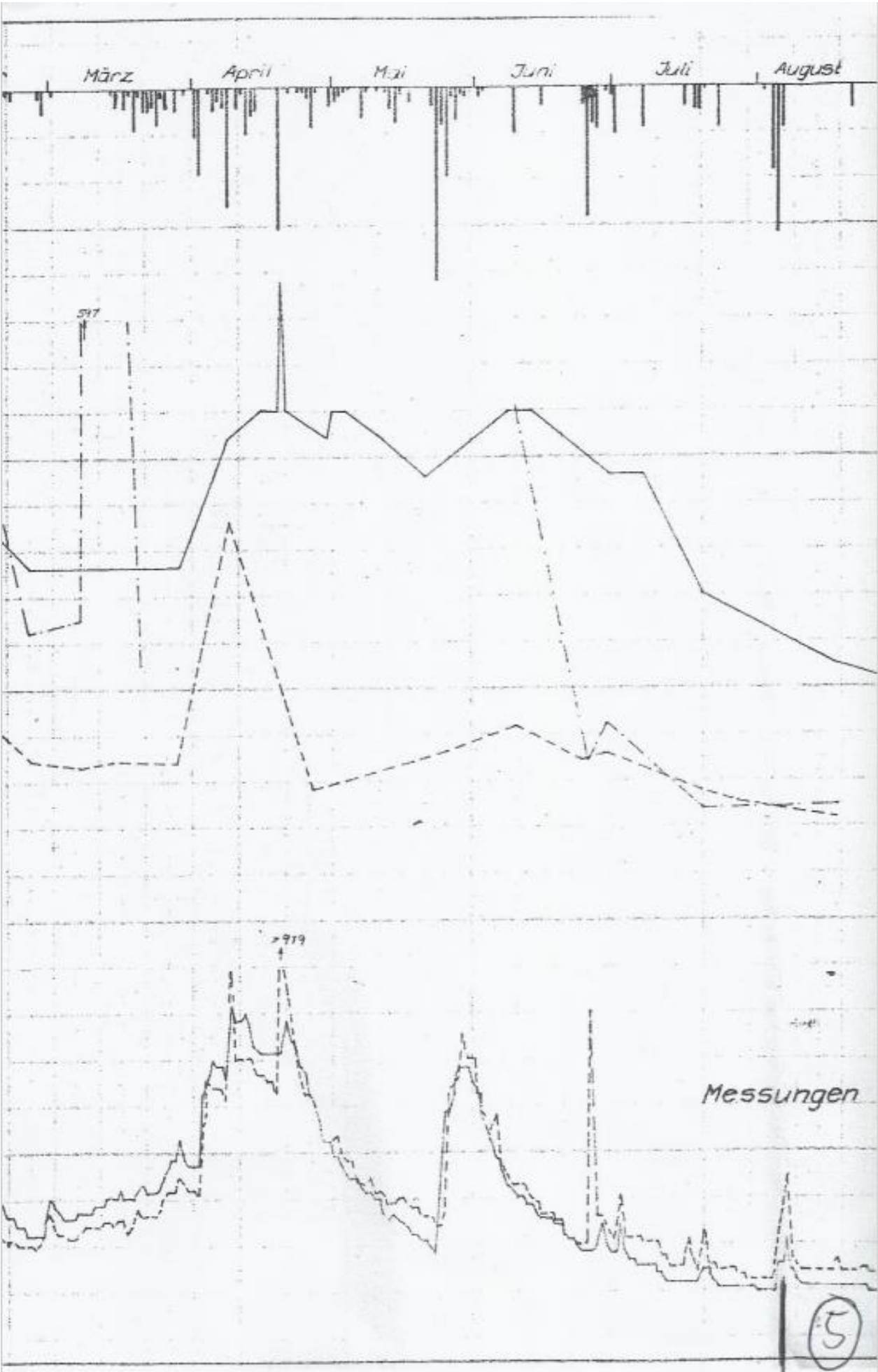
Bachelorarbeit von Jakob Hafemann – Kleinwasserkraftanlage in Schweina – Anhang B: Schüttungsmessung von 1984 mit Auswertung der Messreihe „Schweina/ Schweina“

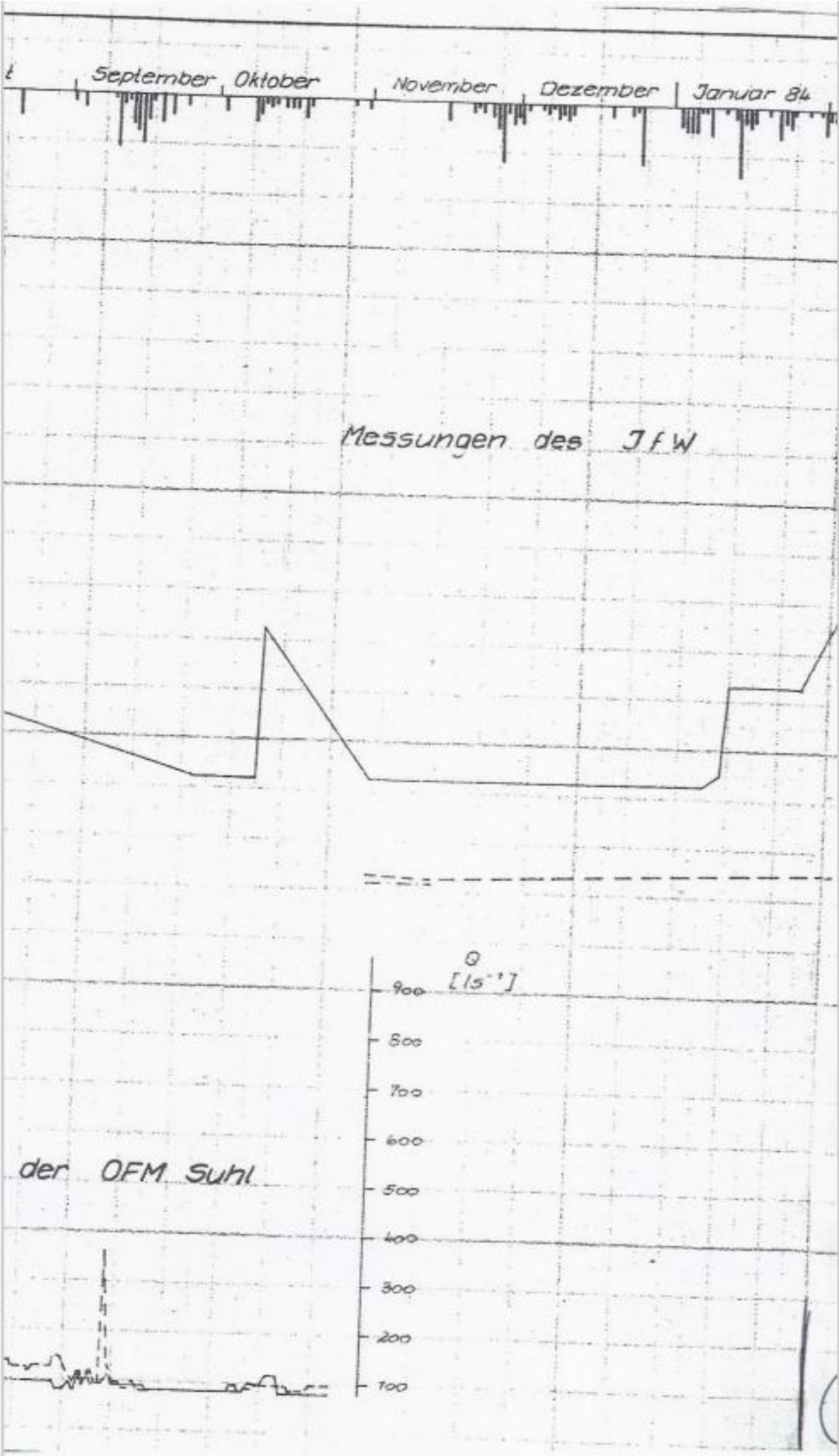


Bachelorarbeit von Jakob Hafemann – Kleinwasserkraftanlage in Schweina – Anhang B: Schüttungsmessung von 1984 mit Auswertung der Messreihe „Schweina/ Schweina“



Bachelorarbeit von Jakob Hafemann – Kleinwasserkraftanlage in Schweina – Anhang B: Schüttungsmessung von 1984 mit Auswertung der Messreihe „Schweina/ Schweina“





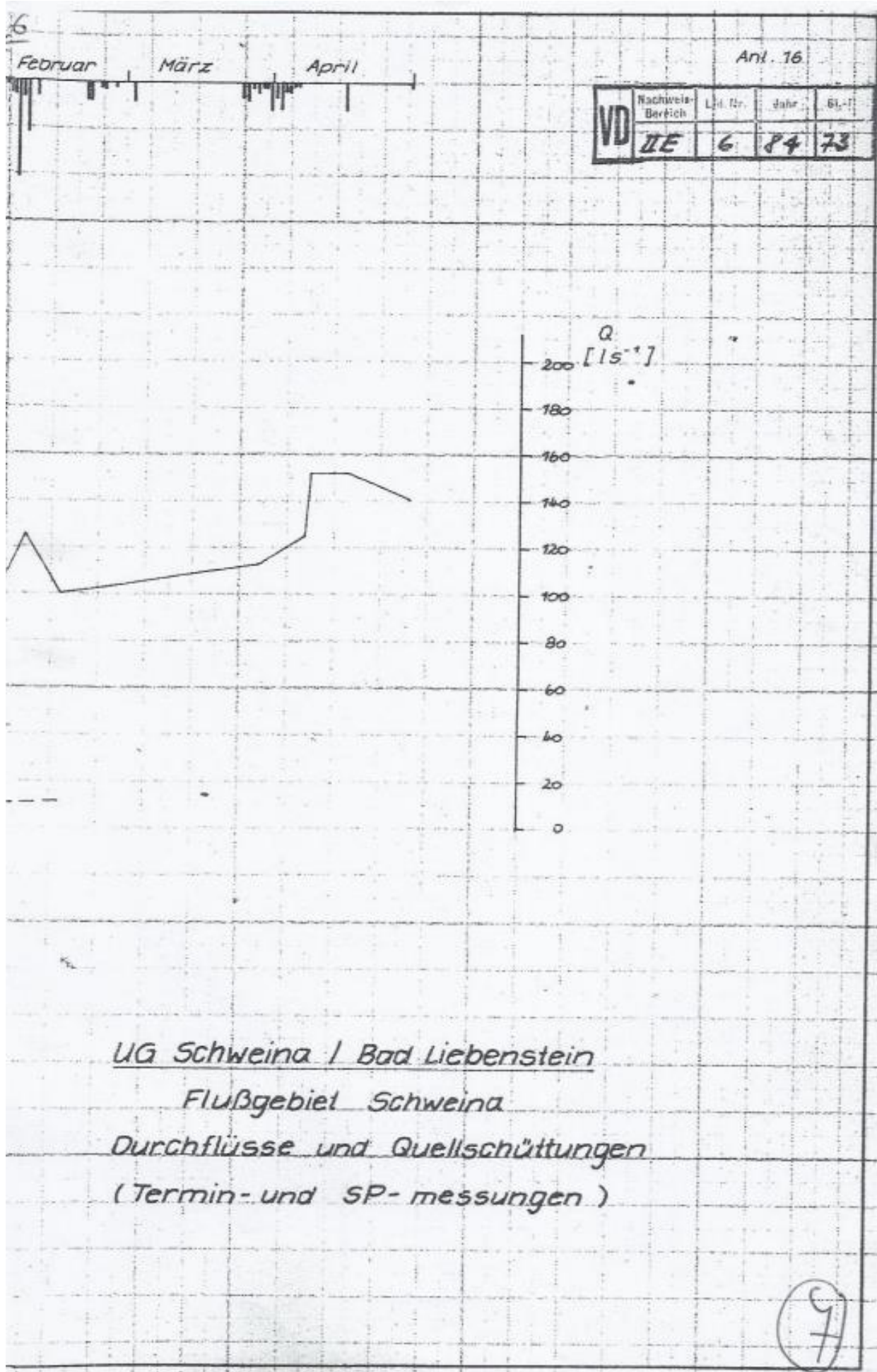


Tabelle B1: Abgelesene Messwerte der Messreihe "Schweina/ Schweina" aus der Schüttungsmessung von 1984							
Jul 81		Aug 81		Sep 81		Okt 81	
Datum	Q in l/s	Datum	Q in l/s	Datum	Q in l/s	Datum	Q in l/s
1	170	1	115	1	470	1	330
2	185	2	110	2	450	2	310
3	200	3	110	3	440	3	300
4	180	4	100	4	420	4	300
5	160	5	95	5	400	5	310
6	155	6	150	6	370	6	300
7	150	7	400	7	370	7	300
8	140	8	800	8	365	8	300
9	140	9	850	9	360	9	310
10	140	10	900	10	355	10	320
11	130	11	900	11	355	11	350
12	130	12	900	12	355	12	340
13	130	13	800	13	350	13	325
14	130	14	750	14	350	14	330
15	130	15	600	15	340	15	340
16	130	16	520	16	320	16	320
17	130	17	570	17	350	17	320
18	130	18	530	18	355	18	365
19	130	19	500	19	355	19	360
20	135	20	520	20	330	20	350
21	140	21	500	21	320	21	350
22	150	22	490	22	315	22	350
23	130	23	490	23	310	23	350
24	200	24	490	24	300	24	360
25	210	25	470	25	300	25	370
26	170	26	470	26	300	26	365
27	150	27	470	27	300	27	360
28	150	28	470	28	290	28	360
29	140	29	470	29	285	29	360
30	130	30	470	30	350	30	350
31	120	31	470			31	340
Median	140	Median	490	Median	350	Median	340
Mittelwert	148,87	Mittelwert	499,35	Mittelwert	351,00	Mittelwert	335,32

Fortsetzung Tabelle B1: Abgelesene Messwerte der Messreihe "Schweina/ Schweina" aus der Schüttungsmessung von 1985							
Nov 81		Dez 81		Jan 82		Feb 82	
Datum	Q in l/s	Datum	Q in l/s	Datum	Q in l/s	Datum	Q in l/s
1	340	1	600	1	400	1	410
2	340	2	600	2	420	2	380
3	330	3	600	3	530	3	340
4	320	4	600	4	700	4	300
5	320	5	560	5	850	5	300
6	320	6	530	6	950	6	300
7	320	7	570	7	880	7	315
8	320	8	530	8	810	8	320
9	315	9	520	9	640	9	355
10	310	10	510	10	600	10	320
11	310	11	500	11	580	11	300
12	310	12	480	12	570	12	300
13	320	13	460	13	500	13	310
14	330	14	450	14	450	14	320
15	340	15	430	15	420	15	320
16	320	16	420	16	410	16	310
17	320	17	420	17	400	17	300
18	320	18	410	18	370	18	300
19	330	19	400	19	360	19	290
20	340	20	380	20	350	20	280
21	370	21	370	21	340	21	280
22	400	22	360	22	335	22	260
23	420	23	355	23	330	23	250
24	430	24	350	24	320	24	250
25	460	25	350	25	310	25	250
26	480	26	350	26	300	26	250
27	500	27	340	27	290	27	250
28	540	28	330	28	260	28	240
29	580	29	330	29	340		
30	590	30	330	30	380		
		31	330	31	410		
Median	330	Median	420	Median	410	Median	300
Mittelwert	374,83	Mittelwert	444,03	Mittelwert	477,58	Mittelwert	300,00

Fortsetzung Tabelle B1: Abgelesene Messwerte der Messreihe "Schweina/ Schweina" aus der Schüttungsmessung von 1986							
Mrz 82		Apr 82		Mai 82		Jun 82	
Datum	Q in l/s	Datum	Q in l/s	Datum	Q in l/s	Datum	Q in l/s
1	260	1	330	1	315	1	240
2	270	2	330	2	315	2	235
3	260	3	330	3	315	3	230
4	250	4	345	4	300	4	225
5	250	5	320	5	315	5	220
6	250	6	320	6	300	6	220
7	250	7	320	7	325	7	200
8	250	8	300	8	315	8	200
9	250	9	360	9	315	9	200
10	260	10	360	10	320	10	200
11	260	11	360	11	410	11	210
12	270	12	340	12	390	12	230
13	280	13	330	13	365	13	220
14	280	14	325	14	380	14	210
15	260	15	325	15	400	15	220
16	270	16	310	16	400	16	200
17	270	17	310	17	400	17	200
18	310	18	300	18	350	18	210
19	300	19	285	19	325	19	220
20	290	20	280	20	325	20	200
21	280	21	280	21	325	21	200
22	280	22	280	22	340	22	190
23	270	23	310	23	330	23	180
24	280	24	340	24	315	24	180
25	280	25	320	25	300	25	180
26	280	26	300	26	280	26	175
27	315	27	310	27	270	27	170
28	315	28	315	28	260	28	170
29	315	29	320	29	250	29	170
30	320	30	315	30	240	30	165
31	330			31	240		
Median	270	Median	320	Median	315	Median	200
Mittelwert	277,58	Mittelwert	319,00	Mittelwert	323,55	Mittelwert	202,33

Fortsetzung Tabelle B1: Abgelesene Messwerte der Messreihe "Schweina/ Schweina" aus der Schüttungsmessung von 1987							
Jul 82		Aug 82		Sep 82		Okt 82	
Datum	Q in l/s	Datum	Q in l/s	Datum	Q in l/s	Datum	Q in l/s
1	160	1	80	1	80	1	80
2	160	2	80	2	80	2	80
3	160	3	80	3	85	3	80
4	160	4	80	4	90	4	80
5	150	5	80	5	90	5	80
6	140	6	80	6	90	6	90
7	140	7	80	7	140	7	380
8	125	8	800	8	80	8	150
9	125	9	70	9	80	9	125
10	125	10	70	10	80	10	120
11	110	11	70	11	80	11	120
12	110	12	70	12	100	12	155
13	110	13	70	13	110	13	160
14	110	14	70	14	95	14	155
15	110	15	70	15	95	15	125
16	110	16	70	16	95	16	145
17	110	17	70	17	95	17	145
18	110	18	75	18	90	18	120
19	110	19	80	19	80	19	120
20	110	20	80	20	80	20	120
21	125	21	80	21	80	21	115
22	140	22	80	22	80	22	110
23	110	23	80	23	80	23	145
24	120	24	80	24	85	24	145
25	120	25	80	25	90	25	145
26	120	26	80	26	85	26	135
27	115	27	80	27	80	27	130
28	110	28	85	28	80	28	110
29	100	29	90	29	80	29	110
30	90	30	90	30	80	30	110
31	80	31	85			31	110
Median	115	Median	80	Median	82,5	Median	120
Mittelwert	121,77	Mittelwert	101,13	Mittelwert	87,83	Mittelwert	128,87

Fortsetzung Tabelle B1: Abgelesene Messwerte der Messreihe "Schweina/ Schweina" aus der Schüttungsmessung von 1988							
Nov 82		Dez 82		Jan 83		Feb 83	
Datum	Q in l/s	Datum	Q in l/s	Datum	Q in l/s	Datum	Q in l/s
1	110	1	100	1	210	1	400
2	110	2	200	2	210	2	405
3	110	3	100	3	280	3	395
4	100	4	100	4	300	4	395
5	95	5	110	5	310	5	395
6	90	6	120	6	310	6	370
7	80	7	130	7	340	7	370
8	80	8	135	8	340	8	360
9	80	9	140	9	340	9	355
10	80	10	150	10	340	10	350
11	80	11	155	11	330	11	320
12	85	12	120	12	320	12	320
13	90	13	110	13	310	13	315
14	90	14	140	14	310	14	310
15	80	15	150	15	325	15	300
16	90	16	170	16	340	16	300
17	95	17	160	17	340	17	300
18	95	18	170	18	330	18	280
19	95	19	170	19	320	19	265
20	100	20	270	20	320	20	265
21	100	21	250	21	340	21	250
22	100	22	230	22	360	22	240
23	100	23	220	23	360	23	240
24	100	24	210	24	340	24	230
25	100	25	200	25	310	25	220
26	100	26	200	26	310	26	220
27	100	27	210	27	310	27	220
28	240	28	210	28	310	28	250
29	250	29	210	29	350	29	275
30	250	30	210	30	330	30	300
		31	210	31	340		
Median	97,5	Median	170	Median	325	Median	300
Mittelwert	109,17	Mittelwert	169,68	Mittelwert	318,87	Mittelwert	307,17

Fortsetzung Tabelle B1: Abgelesene Messwerte der Messreihe "Schweina/ Schweina" aus der Schüttungsmessung von 1989							
Mrz 83		Apr 83		Mai 83		Jun 83	
Datum	Q in l/s	Datum	Q in l/s	Datum	Q in l/s	Datum	Q in l/s
1	290	1	370	1	390	1	520
2	280	2	415	2	370	2	500
3	260	3	460	3	350	3	470
4	260	4	505	4	330	4	400
5	260	5	550	5	320	5	390
6	270	6	600	6	310	6	370
7	270	7	590	7	300	7	350
8	270	8	570	8	290	8	330
9	270	9	710	9	280	9	310
10	290	10	690	10	270	10	300
11	290	11	700	11	260	11	290
12	295	12	690	12	270	12	280
13	300	13	650	13	260	13	270
14	300	14	620	14	250	14	260
15	310	15	610	15	240	15	260
16	300	16	610	16	230	16	250
17	300	17	610	17	220	17	240
18	310	18	610	18	210	18	230
19	320	19	650	19	200	19	220
20	330	20	680	20	180	20	210
21	310	21	640	21	350	21	205
22	310	22	600	22	400	22	200
23	330	23	590	23	490	23	190
24	340	24	570	24	520	24	190
25	370	25	520	25	550	25	190
26	385	26	500	26	580	26	250
27	430	27	480	27	580	27	220
28	400	28	460	28	570	28	200
29	370	29	440	29	560	29	185
30	370	30	420	30	550	30	185
31	370			31	540		
Median	300	Median	595	Median	320	Median	255
Mittelwert	314,84	Mittelwert	570,33	Mittelwert	361,94	Mittelwert	282,17

Fortsetzung Tabelle B1: Abgelesene Messwerte der Messreihe "Schweina/ Schweina" aus der Schüttungsmessung von 1990							
Jul 83		Aug 83		Sep 83		Okt 83	
Datum	Q in l/s	Datum	Q in l/s	Datum	Q in l/s	Datum	Q in l/s
1	240	1	100	1	95	1	80
2	200	2	100	2	95	2	80
3	180	3	100	3	95	3	80
4	160	4	160	4	95	4	80
5	150	5	210	5	95	5	80
6	150	6	140	6	80	6	80
7	150	7	130	7	95	7	80
8	150	8	120	8	80	8	80
9	140	9	110	9	90	9	80
10	130	10	110	10	105	10	80
11	120	11	110	11	90	11	95
12	120	12	110	12	105	12	80
13	120	13	110	13	90	13	100
14	120	14	110	14	95	14	95
15	120	15	110	15	95	15	110
16	120	16	110	16	110	16	120
17	120	17	110	17	90	17	120
18	130	18	110	18	90	18	100
19	140	19	105	19	90	19	90
20	150	20	105	20	90	20	75
21	130	21	105	21	90	21	75
22	120	22	105	22	90	22	75
23	110	23	100	23	90	23	75
24	110	24	95	24	85	24	75
25	110	25	95	25	80	25	75
26	110	26	95	26	80	26	75
27	110	27	95	27	80	27	75
28	110	28	95	28	80	28	75
29	110	29	95	29	80	29	75
30	110	30	95	30	80	30	75
31	100	31	95			31	75
Median	120	Median	105	Median	90	Median	80
Mittelwert	133,55	Mittelwert	110,97	Mittelwert	90,17	Mittelwert	84,19

Abbildung B1: Durchschnittliche Durchflussmengen aus der Messreihe „Schweina/ Schweina“ aus der Schüttungsmessung von 1984

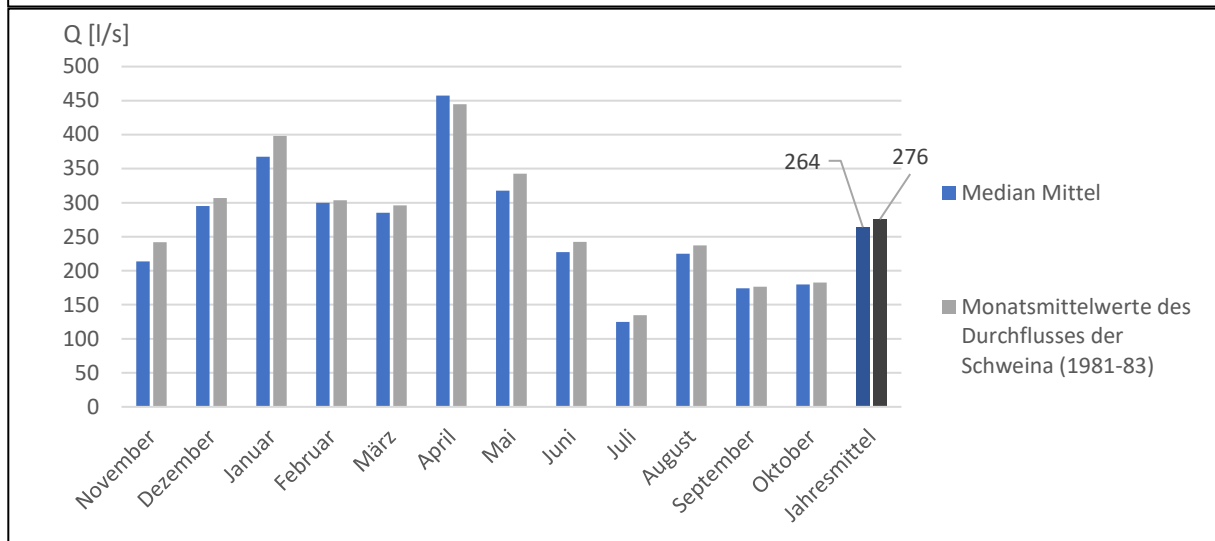
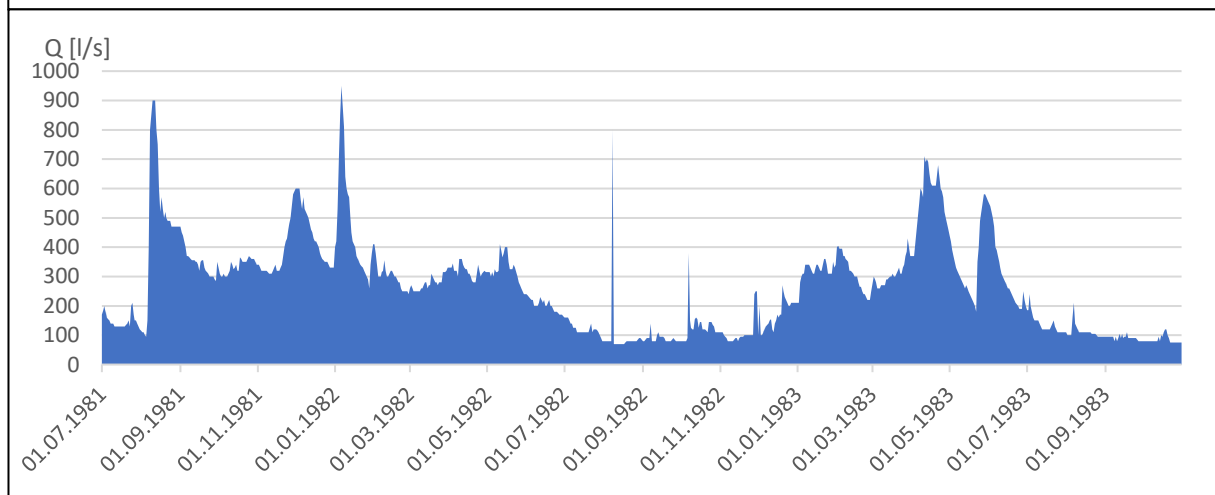


Abbildung B2: Durchflussmenge der Schweina von 07/1981-09/1983 nach der Schüttungsmessung von 1984 (Messreihe „Schweina/ Schweina“)



Anhang C
Persönliche Mitteilungen mit Anhängen

Von: Daniel Kircher <Daniel.Kircher@wartburgkreis.de>
Gesendet: Donnerstag, 29. September 2022 08:07
An: Hafemann, Jakob
Cc: Dr. Ulrich Feder
Betreff: AW: Antwort: WG: Kleinwasserkraft im Wartburgkreis (mit allen Anlagen)

Sehr geehrter Herr Hafemann,

für verlässliche Aussagen zu einer Mindestwassermenge benötigt man die Langjährigen Mittelwasser- und mittleren Niedrigwasserabflüsse eines Gewässers. Diese werden im Genehmigungsverfahren anhand eines hydrologischen Gutachtens ermittelt.

Die Ihnen vorliegenden, ca. 40 Jahre alten Abflussdaten sind hierfür als Bezugsgröße nur sehr begrenzt geeignet.

Aktuelle Daten zur Schweina liegen möglicherweise der Stadt Bad Liebenstein im Rahmen deren Hochwasserschutzkonzeptes vor oder aber dem TLUBN, Ref. 41, welches sich mit der Hydrologie Thüringer Fließgewässer, speziell auch Fragend es Hoch- und Niedrigwassermanagements befasst.

Mit freundlichen Grüßen
Im Auftrag

gez.
Daniel Kircher
stellv. Amtsleiter /
Sachgebietsleiter Untere Wasser-, Abfall- und Bodenschutzbehörde

Landratsamt Wartburgkreis
Umweltamt
Andreasstraße 11, Z. 212
36433 Bad Salzungen
Tel.: 03695 / 616708

Hinweis zum Datenschutz:
Die Information zum Datenschutz gemäß Artikel 13 DSGVO ist unter https://www.wartburgkreis.de/fileadmin/Fotos/25/Formulare/Merkblatt_Datenschutz.pdf oder im Sekretariat des Umweltamtes im Landratsamt Wartburgkreis, Zimmer 222, Andreasstraße 11, 36433 Bad Salzungen einsehbar.

-----Ursprüngliche Nachricht-----

Von: Hafemann, Jakob <Jakob.Hafemann@stud.eah-jena.de>
Gesendet: Mittwoch, 28. September 2022 14:41
An: Daniel Kircher <Daniel.Kircher@wartburgkreis.de>
Betreff: AW: Antwort: WG: Kleinwasserkraft im Wartburgkreis (mit allen Anlagen)

Sehr geehrter Kircher,

können Sie auf der Grundlage folgender hydrologischer Daten eine Aussage zum Mindestwasser treffen?
Die Daten stammen von einer Schüttungsmessung von 1984, aber wir nehmen jetzt einfach mal an, dass diese Daten aktuell sind.

Bachelorarbeit von Jakob Hafemann – Kleinwasserkraftanlage in Schweina – Anhang C: Persönliche Mitteilungen mit Anhängen

Die Durchschnittswerte aus der 3 jährigen Messung ergeben folgendes Diagramm:
[cid:a045c717-5b0d-4c82-89a3-77e830a6dbb5]

Der Verlauf der kompletten Messung ergibt diesen Graphen:
[cid:108d9a60-f613-45d5-8996-59114928c1d1]

Bei Rückfragen stehe ich selbstverständlich auch telefonisch zur Verfügung.
Ich bedanke ich mich recht herzlich im Voraus!

Mit freundlichen Grüßen
Jakob Hafemann

Student für Umwelttechnik an der Ernst-Abbe-Hochschule Jena Fachbereich Wirtschaftsingenieurwesen
Matrikel-Nr.: 644743
Mobil: +49 157 37646790

Von: Daniel Kircher <daniel.kircher@wartburgkreis.de>
Gesendet: Montag, 15. August 2022 10:03:20
An: Hafemann, Jakob
Betreff: Antwort: WG: Kleinwasserkraft im Wartburgkreis (mit allen Anlagen)

Sehr geehrter Herr Hafemann,

nachfolgend einige Antworten auf Ihre Fragen:

Nach meinem bisherigen Wissenstand bedarf es dazu eines umfangreichen Genehmigungsverfahrens, dessen Ablauf ich möglichst detailliert beschreiben möchte.

- Für den Betrieb einer Kleinwasserkraftanlage ist i.d.R. das Entnehmen und Ableiten (und Wiedereinleiten) eines Gewässers, i.d.R. verbunden mit dem Aufstauen eines Fließgewässers erforderlich. Nach § 9 WHG sind u.a. das Entnehmen und Ableiten von Wasser aus oberirdischen Gewässern sowie das Aufstauen und Absenken von oberirdischen Gewässern Benutzungen eines Gewässers. Gewässerbenutzungen bedürfen nach § 8 WHG der Erlaubnis oder Bewilligung, wobei in der Verwaltungspraxis i.d.R. ein Erlaubnisverfahren bevorzugt wird. Der Verfahrensablauf ist seit 2022 in § 11 a WHG geregelt.

Dazu benötige ich Ihre Unterstützung, um herauszufinden welche Anträge gestellt, Gutachten gemacht und Informationen beschafft werden müssten.

- Eine Übersicht der neben den Unterlagen zur UVP-Vorprüfung einzureichenden Antragsunterlagen habe ich Ihnen in der Anlage beigefügt.

Nach UVPG Anlage 1 (13.14) müssen geplante Wasserkraftanlagen eine Vorprüfung zur UVP-Pflicht durchlaufen. Wie läuft diese Vorprüfung ab?

- Nach UVPG Anlage 1 (13.14) ist eine allgemeine Vorprüfung durchzuführen. Bei der allgemeinen Vorprüfung ist nach UVPG eine überschlüssig zu prüfen, ob durch das Vorhaben erhebliche nachteilige Umweltauswirkungen zu erwarten sind, die in bei der Entscheidung über die Genehmigung der Waldumwandlung zu berücksichtigen wären. Die Prüfung hat dabei anhand der in der Anlage 3 UVPG aufgeführten Schutzkriterien zu erfolgen, die die Merkmale des Vorhabens, den Standort und die Merkmale der möglichen Auswirkungen des Vorhabens erfassen. Bei den Vorprüfungen ist zu berücksichtigen, inwieweit Umweltauswirkungen durch die vom Träger des Vorhabens vorgesehenen Vermeidungs- und Verminderungsmaßnahmen offensichtlich ausgeschlossen werden können. Die Vorprüfung erfolgt anhand der Angaben des Antragstellers und anhand des Kriterienkatalogs der Anlage 3 des UVPG. I.d.R. werden hierzu bereits die für die entsprechenden Schutzgüter

Bachelorarbeit von Jakob Hafemann – Kleinwasserkraftanlage in Schweina – Anhang C: Persönliche Mitteilungen mit Anhängen

zuständigen Fachbehörden (Natur- Boden- und Denkmalschutz) mit im verfahren beteiligt. Das Ergebnis der UVP-Vorprüfung ist öffentlich bekannt zu machen.

Haben Sie dazu Formulare?

- Nein.

Wie wahrscheinlich halten Sie eine UVP bei dem Bau eines Wasserrades mit weit weniger als 1MW Nennleistung?

- i.d.R. sind mit einer Wasserkraftnutzung, unabhängig von der Nennleistung, nachteilige Umweltauswirkungen auf die Gewässerstruktur und die Fischfauna verbunden. Nur im Einzelfall kann ausgeschlossen werden, dass diese erheblich sind. I.d.R. wird also eine UVP durchzuführen sein.

Nach §11a WHG bedarf das Vorhaben einer Erlaubnis oder Bewilligung.

- Genau genommen nach § 8 Abs 1 WHG. § 11 a regelt seit neuestem ergänzend den Verfahrensweg bei Wasserkraftanlagen.

Wie läuft das Verfahren dazu ab?

- Für das Verfahren hat der Gesetzgeber in § 11 a Abs 3 WHG vorgesehen, dass ein Verfahrenshandbuch für Träger von Vorhaben bereitzustellen ist. Dabei soll gesondert auch auf kleinere Vorhaben und Vorhaben zur Eigenversorgung mit Elektrizität eingegangen werden. Dieses Handbuch soll in Thüringen zentral von der Oberen Wasserbehörde bereitgestellt werden, liegt aber noch nicht vor.

Haben Sie dazu Formulare?

- möglicherweise wird das Verfahrenshandbuch Formulare enthalten, derzeit liegen aber noch keine vor, die Antragstellung erfolgt formlos. Eine Übersicht der neben den Unterlagen zur UVP-Vorprüfung einzureichenden Antragsunterlagen habe ich Ihnen in der Anlage beigefügt.

Macht es laut Ihrer Erfahrung einen Unterschied ob gänzlich neue Standorte "erschlossen" werden oder ehemalige Mühlenstandorte restauriert/wieder in Betrieb genommen werden?

- dies macht einen erheblichen Unterschied. Die Erlaubnis und die Bewilligung sind zu versagen, wenn schädliche, auch durch Nebenbestimmungen nicht vermeidbare oder nicht ausgleichbare Gewässeränderungen zu erwarten sind oder andere Anforderungen nach öffentlich-rechtlichen Vorschriften nicht erfüllt werden (§ 12 WHG). Nach § 27 WHG sind oberirdische Gewässer, soweit sie nicht nach § 28 WHG als künstlich oder erheblich verändert eingestuft werden, so zu bewirtschaften, dass eine Verschlechterung ihres ökologischen und ihres chemischen Zustands vermieden wird. Mithin wird also eine Wasserkraftnutzung an einem bis dahin unberührten Standort, weil er stets zu einer Verschlechterung des ökologischen Zustandes führt, regelmäßig abzulehnen sein. In Frage kommen folglich ausschließlich Standorte, die entsprechend "vorbelastet" sind.

Wie gehen Sie mit der Mindestwasserregelung um? Gibt es eine festgelegte Methode (CASiMiR; LAWA), die Ihre Behörde empfiehlt oder vorgibt?

- Die Mindestrestwassermenge wird in der wasserrechtlichen Entscheidung vorgegeben. Maßgeblich sind die mit dem Antrag vorzulegenden hydrologischen Daten des Gewässers.

Welche weiteren Unterlagen und Informationen braucht es für die Umsetzung einer Kleinwasserkraftanlage?

- Eine Übersicht der neben den Unterlagen zur UVP-Vorprüfung einzureichenden Antragsunterlagen habe ich Ihnen in der Anlage beigefügt.

Für weitere Fragen stehe ich gern zur Verfügung.

Bachelorarbeit von Jakob Hafemann – Kleinwasserkraftanlage in Schweina – Anhang C: Persönliche Mitteilungen mit Anhängen

Mit freundlichen Grüßen
Im Auftrag

gez.
Daniel Kircher
stellv. Amtsleiter /
Sachgebietsleiter Untere Wasser-, Abfall- und Bodenschutzbehörde

Landratsamt Wartburgkreis
Umweltamt
Andreasstraße 11, Z. 212
36433 Bad Salzungen
Tel.: 03695 / 616708

Hinweis zum Datenschutz:
Die Information zum Datenschutz gemäß Artikel 13 DSGVO ist unter https://www.wartburgkreis.de/fileadmin/Fotos/25/Formulare/Merkblatt_Datenschutz.pdf oder im Sekretariat des Umweltamtes im Landratsamt Wartburgkreis, Zimmer 222, Andreasstraße 11, 36433 Bad Salzungen einsehbar.

Von: umwelt/WAK/DE
An: Daniel Kircher/WAK/DE@WAK
Datum: 02.08.2022 08:28
Betreff: WG: Kleinwasserkraft im Wartburgkreis
Gesendet von: Ulrich Feder

----- Weitergeleitet von Ulrich Feder/WAK/DE am 02.08.2022 08:26 -----

Von: "Hafemann, Jakob" <Jakob.Hafemann@stud.eah-jena.de>
An: "Umwelt Wartburgkreis" <umwelt@wartburgkreis.de>
Datum: 01.08.2022 14:33
Betreff: Kleinwasserkraft im Wartburgkreis

Sehr geehrte Damen und Herren,

im Rahmen meiner Bachelorarbeit prüfe ich die Machbarkeit einer Kleinwasserkraftanlage (< 1 MW) im Wartburgkreis.

Nach meinem bisherigen Wissenstand bedarf es dazu eines umfangreichen Genehmigungsverfahrens, dessen Ablauf ich möglichst detailliert beschreiben möchte.

Dazu benötige ich Ihre Unterstützung, um herauszufinden welche Anträge gestellt, Gutachten gemacht und Informationen beschafft werden müssten.

1. Nach UVPG Anlage 1 (13.14) müssen geplante Wasserkraftanlagen eine Vorprüfung zur UVP-Pflicht durchlaufen.

Bachelorarbeit von Jakob Hafemann – Kleinwasserkraftanlage in Schweina – Anhang C: Persönliche Mitteilungen mit Anhängen

Wie läuft diese Vorprüfung ab? Haben Sie dazu Formulare? Wie wahrscheinlich halten Sie eine UVP bei dem Bau eines Wasserrades mit weit weniger als 1MW Nennleistung?

2. Nach §11a WHG bedarf das Vorhaben einer Erlaubnis oder Bewilligung.

Wie läuft das Verfahren dazu ab? Haben Sie dazu Formulare? Macht es laut Ihrer Erfahrung einen Unterschied ob gänzlich neue Standorte "erschlossen" werden oder ehemalige Mühlenstandorte restauriert/wieder in Betrieb genommen werden?

3. Wie gehen Sie mit der Mindestwasserregelung um? Gibt es eine festgelegte Methode (CASiMiR; LAWA), die Ihre Behörde empfiehlt oder vorgibt?

4. Welche weiteren Unterlagen und Informationen braucht es für die Umsetzung einer Kleinwasserkraftanlage?

Ich bedanke mich im Voraus für Ihre Antworten.

Bei Rückfragen stehe ich gerne auch telefonisch zur Verfügung.

Mit freundlichen Grüßen,
Jakob Hafemann

Student für Umwelttechnik an der Ernst-Abbe-Hochschule Jena Fachbereich Wirtschaftsingenieurwesen
Matrikel-Nr.: 644743
Mobil: +49 157 37646790

Anhang 1 aus der Mail von D.Kircher, Montag, 15. August 2022 10:03:20

<https://www.gesetze-im-internet.de/uvpg/UVPG.pdf>

Allgemeine Vorprüfung UVPG

Zur Feststellung der UVP-Pflicht für die geplante Grundwasserentnahme ist nach §§ 5, 7 des Gesetzes über die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVPG) vom 24. Februar 2010 (BGBl. I S. 94), zuletzt geändert durch Gesetz vom 13. Mai 2019 (BGBl. I S. 706) i. V. m. der Anlage 1 Nr. 13.3.2 eine allgemeine Vorprüfung/ standortbezogene Vorprüfung des Einzelfalls durchzuführen. Dabei ist unter Berücksichtigung der in der Anlage 3 zum UVPG aufgeführten Kriterien zu prüfen, ob durch das Vorhaben erhebliche nachteilige Auswirkungen auf Schutzgüter zu erwarten sind.

Die allgemeine Vorprüfung im Einzelfall ist eine überschlägige Prüfung der möglichen nachteiligen Umweltauswirkungen des Vorhabens. Diese ist entsprechend § 7 Abs. 1 UVPG i. V. m. den in der Anlage 3 aufgeführten Kriterien durchzuführen. Im Rahmen der Vorprüfung soll die Behörde abschätzen, ob das Vorhaben erhebliche nachteilige Umweltauswirkungen auf die in § 2 Abs. 1 UVPG genannten Schutzgüter hat. Die materiellen Anforderungen richten sich dabei nach dem jeweiligen Fachrecht.

Die standortbezogene Vorprüfung ist als überschlägige Prüfung in zwei Stufen entsprechend § 7 Abs. 2 S. 2 UVPG durchzuführen. In der ersten Stufe werden die besonderen örtlichen Gegebenheiten gemäß § 7 Abs. 2 S. 3 UVPG i. V. m. Anlage 3 Nr. 2. 3 UVPG geprüft. Ergibt die Prüfung in der ersten Stufe, dass besondere örtliche Gegebenheiten vorliegen, so prüft die Behörde auf der zweiten Stufe unter Berücksichtigung der in Anlage 3 aufgeführten Kriterien, ob das Neuvorhaben erhebliche nachteilige Umweltauswirkungen haben kann, welche die besondere Empfindlichkeit oder die Schutzziele des Gebietes betreffen und nach § 25 Abs. 2 bei der Zulassungsentscheidung zu berücksichtigen wären (§ 7 Abs. 2 S. 5 UVPG).

Die Schutzgüter, welche im Rahmen der UVP zu berücksichtigen sind, sind in § 2 Abs. 1 UVPG aufgelistet:

- Menschen, insbesondere die menschliche Gesundheit,
- Tiere, Pflanzen und die biologische Vielfalt,
- Fläche, Boden, Wasser, Luft, Klima und Landschaft,
- kulturelles Erbe und sonstige Sachgüter sowie
- die Wechselwirkung zwischen den vorgenannten Schutzgütern.

Die UVP – Pflicht besteht, wenn das Vorhaben nach Einschätzung der zuständigen Behörde solche Umweltauswirkungen haben kann, die nach § 25 Abs. 2 UVPG bei der Zulassungsentscheidung zu berücksichtigen wären.

Zu den Kriterien der **Anlage 3** (Kriterien für die Vorprüfung im Rahmen einer Umweltverträglichkeitsprüfung) des UVPG sind seitens des Antragstellers kurze Aussagen (Ja/ Nein) zu treffen.

1.	<p>Merkmale der Vorhaben</p> <p>Die Merkmale eines Vorhabens sind insbesondere hinsichtlich folgender Kriterien zu beurteilen</p>
1.1	Größe und Ausgestaltung des gesamten Vorhabens und, soweit relevant, der Abrissarbeiten
1.2	Zusammenwirken mit anderen bestehenden oder zugelassenen Vorhaben und Tätigkeiten,
1.3	Nutzung natürlicher Ressourcen, insbesondere Fläche, Boden, Wasser, Tiere, Pflanzen und biologische Vielfalt,
1.4	Erzeugung von Abfällen im Sinne von § 3 Absatz 1 und 8 des Kreislaufwirtschaftsgesetzes,
1.5	Umweltverschmutzung und Belästigungen,
1.6	Risiken von Störfällen, Unfällen und Katastrophen, die für das Vorhaben von Bedeutung sind, einschließlich der Störfälle, Unfälle und Katastrophen, die wissenschaftlichen Erkenntnissen zufolge durch den Klimawandel bedingt sind, insbesondere mit Blick auf:
1.6.1	verwendete Stoffe und Technologien,
1.6.2	die Anfälligkeit des Vorhabens für Störfälle im Sinne des § 2 Nummer 7 der Störfall-Verordnung, insbesondere aufgrund seiner Verwirklichung innerhalb des angemessenen Sicherheitsabstandes zu Betriebsbereichen im Sinne des § 3 Absatz 5a des Bundes-Immissionsschutzgesetzes,

1.7	Risiken für die menschliche Gesundheit, z. B. durch Verunreinigung von Wasser oder Luft.
2.	Standort der Vorhaben Die ökologische Empfindlichkeit eines Gebiets, das durch ein Vorhaben möglicherweise beeinträchtigt wird, ist insbesondere hinsichtlich folgender Nutzungs- und Schutzkriterien unter Berücksichtigung des Zusammenwirkens mit anderen Vorhaben in ihrem gemeinsamen Einwirkungsbereich zu beurteilen:
2.1	bestehende Nutzung des Gebietes, insbesondere als Fläche für Siedlung und Erholung, für land-, forst- und fischereiwirtschaftliche Nutzungen, für sonstige wirtschaftliche und öffentliche Nutzungen, Verkehr, Ver- und Entsorgung (Nutzungskriterien),
2.2	Reichtum, Verfügbarkeit, Qualität und Regenerationsfähigkeit der natürlichen Ressourcen, insbesondere Fläche, Boden, Landschaft, Wasser, Tiere, Pflanzen, biologische Vielfalt, des Gebiets und seines Untergrunds (Qualitätskriterien),
2.3	Belastbarkeit der Schutzgüter unter besonderer Berücksichtigung folgender Gebiete und von Art und Umfang des ihnen jeweils zugewiesenen Schutzes (Schutzkriterien):
2.3.1	Natura 2 000-Gebiete nach § 7 Absatz 1 Nummer 8 des Bundesnaturschutzgesetzes,
2.3.2	Naturschutzgebiete nach § 23 des Bundesnaturschutzgesetzes, soweit nicht bereits von Nummer 2.3.1 erfasst,
2.3.3	Nationalparke und Nationale Naturmonumente nach § 24 des Bundesnaturschutzgesetzes, soweit nicht bereits von Nummer 2.3.1 erfasst,
2.3.4	Biosphärenreservate und Landschaftsschutzgebiete gemäß den §§ 25 und 26 des Bundesnaturschutzgesetzes,
2.3.5	Naturdenkmäler nach § 28 des Bundesnaturschutzgesetzes,

2.3.6	geschützte Landschaftsbestandteile, einschließlich Alleen, nach § 29 des Bundesnaturschutzgesetzes,
2.3.7	gesetzlich geschützte Biotop nach § 30 des Bundesnaturschutzgesetzes,
2.3.8	Wasserschutzgebiete nach § 51 des Wasserhaushaltsgesetzes, Heilquellenschutzgebiete nach § 53 Absatz 4 des Wasserhaushaltsgesetzes, Risikogebiete nach § 73 Absatz 1 des Wasserhaushaltsgesetzes sowie Überschwemmungsgebiete nach § 76 des Wasserhaushaltsgesetzes,
2.3.9	Gebiete, in denen die in Vorschriften der Europäischen Union festgelegten Umweltqualitätsnormen bereits überschritten sind,
2.3.10	Gebiete mit hoher Bevölkerungsdichte, insbesondere Zentrale Orte im Sinne des § 2 Absatz 2 Nummer 2 des Raumordnungsgesetzes,
2.3.11	in amtlichen Listen oder Karten verzeichnete Denkmäler, Denkmalensembles, Bodendenkmäler oder Gebiete, die von der durch die Länder bestimmten Denkmalschutzbehörde als archäologisch bedeutende Landschaften eingestuft worden sind.
3.	Art und Merkmale der möglichen Auswirkungen Die möglichen erheblichen Auswirkungen eines Vorhabens auf die Schutzgüter sind anhand der unter den Nummern 1 und 2 aufgeführten Kriterien zu beurteilen; dabei ist insbesondere folgenden Gesichtspunkten Rechnung zu tragen:
3.1	der Art und dem Ausmaß der Auswirkungen, insbesondere, welches geographische Gebiet betroffen ist und wie viele Personen von den Auswirkungen voraussichtlich betroffen sind,
3.2	dem etwaigen grenzüberschreitenden Charakter der Auswirkungen,
3.3	der Schwere und der Komplexität der Auswirkungen,

- 3.4 der Wahrscheinlichkeit von Auswirkungen,
- 3.5 dem voraussichtlichen Zeitpunkt des Eintretens sowie der Dauer, Häufigkeit und Umkehrbarkeit der Auswirkungen,
- 3.6 dem Zusammenwirken der Auswirkungen mit den Auswirkungen anderer bestehender oder zugelassener Vorhaben,
- 3.7 der Möglichkeit, die Auswirkungen wirksam zu vermindern.

Anhang 2 aus der Mail von D.Kircher, Montag, 15. August 2022 10:03:20

Antragsunterlagen im wasserrechtlichen Verfahren

Aus dem Antrag zu einer wasserbehördlichen Entscheidung muss ersichtlich sein:

- Name und Wohnsitz des Antragstellers, bei juristischen Personen der Sitz der Niederlassung und des Vorhabensträgers,
 - Gegenstand der beantragten Entscheidung, geplanter Realisierungszeitraum,
- Unterschrift des Antragstellers oder seines Bevollmächtigten (Ausweisung durch Vollmacht) sowie
 - Ortsangabe und Datum.

Mit dem Antrag auf Erlaubnis sind nachfolgende Unterlagen **vierfach** einzureichen:

1. Verzeichnis der Planvorlagen
2. Erläuterung des Vorhabens
 - Vorhabensträger
 - Zweck des Vorhabens
 - bestehende Verhältnisse
 - Lage des Vorhabens (nach Hoch- und Rechtswert), hydrologische Daten (Einzugsgebiet, Hauptzahlen, Wasserstände und Abflüsse), Ausgangswerte für die Bemessung und den hydraulischen Nachweis,
3. Art und Umfang des Vorhabens,
 - gewählte Lösung, Alternativen,
 - konstruktive Gestaltung der baulichen Anlagen,
 - Art und Leistung der Betriebseinrichtungen,
 - mittlere Abflussdauerlinie aus einer zusammenhängenden Jahresreihe, die Gefälle-, Wirkungsgrad- und Leistungsdauerlinie.
 - die Maschinen in ihren Hauptmaßen sind schematisch darzustellen und die wichtigsten Konstruktionsdaten und die Wirkungsgrade, insbesondere Turbinendurchfluss, Nennfallhöhe und Nennleistung sind anzugeben.
 - beabsichtigte Betriebsweisen,
 - Mess- und Kontrollverfahren,
 - Höhenlage und Festpunkte (alle Höhenangaben in m über NHN, amtliches Bezugssystem DHHN 92)
 - Art und Maß der Wasserbenutzung, insbesondere
 - höchste Entnahmemenge in l/s
 - höchste Tagesmenge in m³/d
 - höchste Jahresmenge in m³/a
4. Auswirkungen des Vorhabens, insbesondere auf
 - die Hauptzahlen des beeinflussten Gewässerabschnittes, die maßgebenden Abfluss-Hauptzahlen des Gewässers, insbesondere die Niedrigwasserabflüsse und der landschaftlich notwendige Mindestabfluss,
 - das Gewässerbett, das Ufer und den Uferbereich,
 - bestehende Gewässerbenutzungen,
 - Wasserschutzgebiete,
 - Natur und Landschaft, Fischerei,
 - Ober-, Unter-, An- oder Hinterlieger,
 - bestehende Rechte;
5. Rechtsverhältnisse,
 - Unterhaltungspflicht an den vom Vorhaben berührten Gewässerstrecken,
 - Unterhaltungspflicht an den durch das Vorhaben betroffenen und den zu

errichtenden baulichen Anlagen,

- privatrechtliche Verhältnisse der durch das Vorhaben berührten Grundstücke und Rechte.

6. Übersichtslageplan

- Als Übersichtslageplan sind Ausschnitte der amtlichen topographischen Karte 1 : 25 000 oder 1 : 10 000 zu verwenden.
- Gewässerpläne als Längsschnitt und Querschnitte des Gewässers in der Ausleitungsstrecke, Längsschnitt und Querschnitte der Ableitung,
- Bauzeichnungen der baulichen Anlagen und der betrieblichen Einrichtungen, Grundstücksverzeichnis
Eigentumsnachweise der betroffenen Grundstücke,
- Auszug aus der Flurkarte

Von: Günter Fischer - Hydrowatt GmbH <info@hydrowatt.de>

Gesendet: Montag, 26. September 2022 13:05

An: Hafemann, Jakob

Betreff: Re: Ihre Anfrage - oberflächliches Wasserrad

Unsere Kennung: Pfeifenfabrik, 36448 Schweina, Anfragedatum 26.10.21
Ihre Anfrage - Oberschlächtinges Wasserrad zur Stromerzeugung

Hallo Herr Hafemann,

meine Antworten habe ich wieder in Ihren Text eingefügt!

Alles Gute und mit freundlichen Grüßen
Günter Fischer

Am 23.09.2022 um 16:38 schrieb Hafemann, Jakob:

Hallo Herr Fischer,

ich habe doch nochmal einige Nachfragen zu ihren Abschätzung bzw. eine Bitte um Ergänzungen.

Ihre Abschätzung von 70.000 (100.000) € beziehen sich auf die gesamte Anlage. Könnten Sie diese nach Wasserrad + Lagerung, Getriebe und Generator sowie elektrische Schaltanlagen aufschlüsseln?

- Beachten Sie hierzu das Musterangebot im Anhang; das passt doch ganz gut zu Ihren Standorten. Für die kleine Variante können Sie die Kosen prozentual umrechnen! Die aktuellen Kostenentwicklungen sind jedoch nur schwer abzusehen und müssen im konkreten Fall zeitnah kalkuliert werden.

Wie hoch schätzen Sie die Nutzungsdauer der einzelnen Anlagenkomponenten? Wann müssten Anlagenkomponenten ersetzt werden?

- Für die Hauptkomponenten schätze ich bei guter Wartung und Betreuung 30 Jahre; einzelne Bauteile wie z. B. Elektronikbauteile; Wälzlager; Dichtungen, können auch schon mal früher fällig werden!

Wie hoch schätzen Sie die Kosten für die Montage? Die Kosten für Netzanschluss würde ich beim hiesigen Versorgungsunternehmen erfragen.

- Siehe Musterangebot!

Erneut vielen Dank im Voraus für Ihre Auskünfte!

Mit freundlichen Grüßen,
Jakob Hafemann

Von: Hafemann, Jakob
Gesendet: Dienstag, 20. September 2022 09:34:48
An: Günter Fischer - Hydrowatt GmbH
Betreff: AW: Ihre Anfrage - oberflächliches Wasserrad

Hallo Herr Fischer,

vielen Dank für die Erläuterungen!

Alles Gute,

Jakob Hafemann

Von: Günter Fischer - Hydrowatt GmbH [<info@hydrowatt.de>](mailto:info@hydrowatt.de)
Gesendet: Montag, 19. September 2022 13:33:52
An: Hafemann, Jakob
Betreff: Re: Ihre Anfrage - oberflächliches Wasserrad

Unsere Kennung: Pfeifenfabrik, 36448 Schweina, Anfragedatum 26.10.21
Ihre Anfrage - Oberflächliches Wasserrad zur Stromerzeugung

Hallo Herr Hafemann,

meine Antworten habe ich in Ihren Text eingefügt!
Ist das soweit verständlich?
Alles Gute und mit freundlichen Grüßen
Günter Fischer

Am 18.09.2022 um 23:22 schrieb Hafemann, Jakob:

Guten Tag Herr Fischer,

vielen Dank für die Zusendung des Angebots. Ich habe dazu noch einige Rückfragen, bevor ich Ihre beantworte.

Wenn ich mich nicht verrechnet habe, hat die Anlage dann einen Gesamtwirkungsgrad von 54 %, korrekt?

Was sind die Wirkungsgrade der einzelnen Anlagenkomponenten?

- Das war ist noch kein Angebot, sondern eine formlose Daten- und Kostenabschätzung!

- Den Gesamtwirkungsgrad können Sie mit 55 - 60 % ansetzen, je nach spezifischem Schluckvermögen des Wasserrades.
 - Die Einzelwirkungsgrad sind: Wasserrad 75 - 80 % (aber auf den DM bezogen), Antiebstechnik (3 - 4-stufig) 94 - 92 %, Generator 85 - 91 %.
- Der Wasserradwirkungsgrad kann durch die konstruktive Gestaltung (Breite, radiale Schaufeltiefe, Durchmesser) beeinflusst werden; was sich dann aber evtl. auch auf die Kosten auswirkt!

Warum rechnen Sie bei der größeren Lösung mit weniger Volllaststunden?

- Bei einem höheren Ausbaugrad haben Sie weniger Volllaststunden!

Prognosen zu Hochwasserpegeln der Schweina sind mir nicht bekannt. In den Schüttungsmessungen von 1981-84 wurden Werte von über 900 l/s registriert. Starkregen-Ereignisse werden nicht gerade seltener.

- Für eine Anlagengestaltung, insbes. bei geringem Gefälle, sind die möglichen HW-Stände sehr wichtig. In der Regel wird hier von einem hundertjährigen HW ausgegangen. Hilfreich sind oft auch Erfahrungswerte von älteren Anwohner*innen.

Der Literatur nach erreichen Wasserräder schon zwischen 10-30% Beaufschlagung annähernd maximale Wirkungsgrade. Wäre es Ihrer Meinung nach sinnvoll die Räder für größere Durchflüsse zu konzipieren?

- Das kann ich noch nicht beurteilen. Hierzu sollten Sie die genannten Schüttungsmessungen auswerten und eine Jahresdauerlinie erstellen.

Da die Schweina z. T. auch noch in Teilströme aufgeteilt wird, wäre es auch noch wichtig zu wissen wo und wie diese Aufteilung erfolgt.

Vielen Dank im Voraus!

Alles Gute und mit freundlichen Grüßen
Jakob Hafemann

Von: Günter Fischer - Hydrowatt GmbH info@hydrowatt.de

Gesendet: Donnerstag, 15. September 2022 11:00

An: Hafemann, Jakob

Betreff: Fwd: Ihre Anfrage - oberflächliches Wasserrad

Guten Tag Herr Hafemann,

vielen Dank für Ihre Anfrage und anbei meine Email zum Thema an Herrn Jäckel!

Wasserkraftschnecken bieten wir nicht an, aber welche Fallhöhe und Wassermenge können Sie an "Streichwehr und/oder Fischaufstiegsanlage" nutzen? Das ist Ihrer pdf "Wasserkraftstandorte-Schweina" nicht ganz eindeutig zu entnehmen. Und welche Hochwassersituationen / Hochwasserstände können auftreten?

Alles Gute und mit freundlichen Grüßen

Günter Fischer

----- Weitergeleitete Nachricht -----

Betreff:Ihre Anfrage - oberflächiges Wasserrad

Datum:Thu, 28 Oct 2021 12:50:39 +0200

Von:Günter Fischer - Hydrowatt GmbH <info@hydrowatt.de>

An:Reinhard Jäckel <r.jaeckel@hkl-ingenieure.de>

Unsere Kennung: Pfeifenfabrik, 36448 Schweina, Anfragedatum 26.10.21

Ihre Anfrage - Oberschlächtinges Wasserrad zur Stromerzeugung

Guten Tag Herr Jäckel,

nachfolgend eine erste Daten- und Kostenabschätzung für die Wasserradanlage.

Bei einem Durchmesser von 2,65 m (Fallhöhe ca. 3,0 m) und einer Ausbauwassermenge von 0,25 (0,5) m³/s kann mit diesem Wasserrad eine elektrische Leistung von etwa 4,0 (8,5) kW erreicht werden.

Jahresabflussdauerzahlen liegen noch nicht vor; grob geschätzt kann bei der kleinen Lösung mit 4 kW elektr. vielleicht mit 7.000 Volllaststunden und einer jahresarbeit von 28.000 kWh gerechnet werden. Bei der großen Lösung mit 8,5 kW dann mit knapp 5.000 Stunden und 40.000 kWh.

Die Kosten für den Maschinensatz, bestehend aus Wasserrad (Radkranz aus Stahl, feuerverzinkt, in der erforderlichen Größenordnung (D=2,65 m, B=1,0 (2,0) m), inkl. Getriebe, Generator, Schaltanlage, Transport und Montage, werden bei etwa 70.000,- (100.000,-) Euro netto liegen.

Bitte betrachten Sie diese Angaben als eine erste grobe Abschätzung; die Kosten für die erforderlichen Betonarbeiten (Wasserradschacht, Maschinenfundamente, Maschinenhäuschen/Witterungs- und Spritzschutz), sowie der Netzanschluss (Hausanschluss, Zählerschrank, ggf. Freischalteinrichtung, usw.), sind darin noch nicht enthalten. Einen Bedarf an weiteren stahlwasserbaulichen Komponenten sehe ich im Moment nicht.

Bachelorarbeit von Jakob Hafemann – Kleinwasserkraftanlage in Schweina – Anhang C: Persönliche Mitteilungen mit Anhängen

Beispielhafte Einbauzeichnungen (Maerdy und Reismühle) finden Sie im Anhang. Bei der Reismühle fehlt in der Zeichnung noch das Maschinenhaus, bzw. der Spritz- und Witterungsschutz, für Generator und Antriebstechnik. Beachten Sie bitte unsere Urheberrechte.

Die erforderliche Einbaubreite (inkl. Ausbauraum für das Aufsteckgetriebe) beträgt bei der kleinen (großen) Lösung etwa 3,5 (4,5) m.

Bei näherem Interesse erstellen wir Ihnen gerne ein förmliches und ausführliches Angebot.

Sind meine Ausführungen soweit verständlich? Für Rückfragen können Sie gerne Kontakt mit mir aufnehmen.

Alles Gute und mit freundlichen Grüßen

Günter Fischer

--

Günter Fischer, Dipl.-Ing. (FH)

Beratung und Verkauf im Innendienst

Hydrowatt Wasserkraft und Energiegewinnungsanlagen GmbH
Am Hafen 5 | 76189 Karlsruhe
Tel.: +49 721 / 831 86 - 20
Fax: +49 721 / 831 86 - 90
Mobil: +49 171 / 62 700 66
E-Mail: info@hydrowatt.de
<https://www.hydrowatt.de>

Amtsgericht: Mannheim (HRB 106496) | USt-Id Nr. DE 811 522 396
Geschäftsführer: Berthold Schwarz

--

Günter Fischer, Dipl.-Ing. (FH)

Beratung und Verkauf im Innendienst

Hydrowatt Wasserkraft und Energiegewinnungsanlagen GmbH
Am Hafen 5 | 76189 Karlsruhe
Tel.: +49 721 / 831 86 - 20
Fax: +49 721 / 831 86 - 90
Mobil: +49 171 / 62 700 66
E-Mail: info@hydrowatt.de
<https://www.hydrowatt.de>

Amtsgericht: Mannheim (HRB 106496) | USt-Id Nr. DE 811 522 396
Geschäftsführer: Berthold Schwarz

Anhang 1 aus der Mail von Günter Fischer, Montag, 26. September 2022 13:05



Wasserkraft- und
Energiegewinnungsanlagen GmbH

Am Hafen 5
76189 Karlsruhe
Telefon 0721-83186- 0
Fax 0721-83186-90
www.hydrowatt.de
info@hydrowatt.de

HydroWatt GmbH - Am Hafen 5 - D - 76189 Karlsruhe

Peter Mustermann

Ansprechpartner Reinhard Schäfer -24

A-

22.03.22
Seite 1 von 11

Fax
Email

Tel.
mobil

Richtpreisangebot
Unser Kennwort: „Museumühle“
Oberschlächtige HydroWatt-Wasserradanlage

Sehr geehrter Herr Mustermann,

bezugnehmend auf Ihre Anfrage vom 16.02.22 und die Absprachen mit unserem Herrn Schäfer, freuen wir uns, Ihnen nachfolgend unser Angebot vorstellen zu dürfen.

Besonderheiten der Wasserradanlage

Das oberflächliche **HydroWatt-Wasserrad** zeichnet sich durch folgende Besonderheiten aus:

- weniger bauliche Maßnahmen
- kein Einlaufrechen und keine Rechenreinigung
- geringerer Wartungs- und Betreuungsaufwand
- günstiges Verhalten unter Umweltgesichtspunkten

Erzielbare Leistung des oberflächlichen HydroWatt-Wasserrades

Aufgrund der von Ihnen genannten Rahmenbedingungen empfehlen wir einen Wasserraddurchmesser bei 2,1 m und eine Radbreite 1,8 m.

Mit der abgesprochenen Ausbauwassermenge von **0,5 m³/s** und einer Fallhöhe von **2,55 m** kann eine **elektrische Leistung** von etwa **6.0 kW** erreicht werden. Dabei gehen wir von folgenden Wirkungsgraden aus:

Wasserrad-Volllast (auf Durchmesser bezogen)	70 %
Getriebe, 3-stufig	94 %
Riementrieb	98 %
Generator 7,5 kW, 6-polig, IE3	91 %

Technische Voraussetzung für die Leistungsangabe ist, dass im Auslegungspunkt (Volllastbetrieb) die Fallhöhe von 2,55 m tatsächlich gegeben ist und das Wasserrad nicht in das Unterwasser eintaucht. Bezogen auf den geplanten Unterwasserspiegel von 320,50 beträgt der Freihang 70 mm.



Wasserradabmessungen und -ausführung:

Mit den uns vorliegenden Daten haben wir einen **Raddurchmesser von etwa 2,10 m** und eine **Radbreite von 1,8 m** vorgesehen.

Im Auftragsfall wird die Schaufelform entsprechend den Einsatzbedingungen ausgelegt, um einen optimalen Betrieb sicherzustellen. Hierfür ist sowohl die genaue Kenntnis des Oberwasser- als auch des Unterwasserstandes im Auslegungspunkt erforderlich.

Der Wasserradschaufelkranz wird in Segmenten als geschweißte Stahlkonstruktion 2-teilig in der Breite mit versetzten Schaufeln ausgeführt.

Welle, Naben und Rosetten werden im zusammengebautem Zustand bei uns im Werk korrosionsschutz. Als Beschichtung wird eine spezielle Anstrichkombination gewählt. Hierdurch ist ein langlebiger Korrosionsschutz gewährleistet.

Zulaufrinne mit Entlastungsklappe

Mittels einer Zulaufrinne wird das Betriebswasser auf den Zenit des Wasserrades geführt. Rinne und Entlastungsklappe werden von HydroWatt geliefert und montiert.

Die hydraulisch betätigte Entlastungsklappe dient zum Anfahren und Abstellen des Wasserrades. Sie schaltet in Verbindung mit der Anlagensteuerung bei Störung und Netzausfall das Wasserrad automatisch ab.

Antriebstechnik

Passend für das Wasserrad haben wir ein Getriebe eines namhaften Herstellers, mit nachfolgendem Riementrieb, vorgesehen. Getriebe und Riementrieb sind auf das Drehmoment des Wasserrades ausgelegt. Die Nenndrehzahl des Wasserrades wird bei etwa 14 U/min liegen.

Das Getriebe wird auf die Wasserradwelle aufgeschoben und übernimmt auch die Lagerung der Wasserradwelle. Ein spezielle Getriebekonsolle erlaubt die notwendige Beweglichkeit der Welle und übernimmt auch die Drehmomentabstützung. Die Fundamente für das Wasserradlager und die Getriebekonsolle werden bauseits nach unseren Zeichnungen hergestellt.

Um hohe Drehzahlen am Getriebeausgang zu vermeiden und eine Überlastsicherung bei Kurzschluss zu erhalten, ist zwischen Getriebe und Generator ein Flachriementrieb angeordnet. Der Riemenschutz ist im Lieferumfang enthalten.

Als Spritz- und Witterungsschutz für die Antriebstechnik ist bauseits ein Getriebeschacht vorzusehen. Zum Schutz des Generators bei Hochwasser, wird dieser etwas erhöht über dem Getriebe angeordnet. Die Durchführung der Wasserradwelle in den Getriebeschacht wird mit einer nachstellbaren Dichtung ausgestattet. Zur weiteren Sicherheit sollte im Getriebeschacht bauseits eine Entwässerungspumpe vorgesehen werden.

Um die Frostgängigkeit des Wasserrades zu erhöhen, empfehlen wir zusätzlich auch dessen Einhausung.

Schaltanlage

Die angebotene Schaltanlage ermöglicht den netzparallelen Betrieb des Asynchrongenerators. Die Anforderungen an die Netzüberwachungsfunktionalität können regional und je nach Energieversorgungsunternehmen (EVU) sehr unterschiedlich sein und damit auch die Kosten für die geforderten Geräte sowie der Aufwand zur technischen Klärung. Wir empfehlen Ihnen, diese Anforderungen frühzeitig mit dem zuständigen EVU zu klären.

Ein Alarmmodem zur Fernüberwachung und Störungsmeldung ist optional angeboten.

Personenschutzeinrichtungen

Notwendige Personenschutzeinrichtungen werden von Ihnen in Eigenleistung realisiert.



Einbauzeichnungen

Bei Bedarf erstellen wir Ihnen für unseren Lieferumfang gerne auch im Vorfeld einer Auftragsvergabe detaillierte Einbauzeichnungen. Mit einem Ortstermin zur Maßaufnahme und detaillierten Absprache, können wir Ihnen diese Einbauzeichnungen für 3.000,- Euro anbieten. Bei Vergabe eines Auftrags an HydroWatt sind diese Kosten zur Hälfte verrechenbar.

Lieferumfang und Kostenübersicht, netto, unverzollt:

Pos. 1	1 Oberschlächtiges Wasserrad, ca. \varnothing 2,1 m – 1,8 m breit, 7,2 kW mech. (H=2,55 m, Q = 0,5 m ³ /s) komplett mit Welle und Wälzlager	Euro	39.360,-
Pos. 2	1 Antriebseinheit (Getriebe, Konsolen, Riemtrieb und Riemenschutz)	Euro	18.600,-
Pos. 3	1 Drehstrom-Asynchrongenerator 7,5 kW, 1.000 1/min, IE3	Euro	2.800,-
Pos. 4	1 Stopfbuchsabdichtung, nachstell- und nachschmierbar	Euro	2.900,-
Pos. 5	1 Zulaufrinne mit Tragkonstruktion, ca. 3,5 m lang - 0,5 m hoch	Euro	9.500,-
Pos. 6	1 Entlastungsklappe, Hydraulisch betätigt, mit Aggregat	Euro	8.520,-
Pos. 7	1 Schaltanlage/Steuerung 7,5 kW, mit Kompensationseinrichtung	Euro	6.000,-

Gesamtpreis des Lieferanteils: Euro 87.680,-

Pos. 8	Montage- und Inbetriebnahmearbeiten: Wasserrad, Antriebstechnik, Generator, Zulaufrinne mit Klappe und Hydraulik (mit Tragkonstruktion) und Schaltanlage/Steuerung Inkl. einer zusätzlichen Anreise eines Technikers zur Inbetriebnahme Inkl. Transport - jedoch ohne Entlade- und Kranarbeit vor Ort	ca. Euro	17.000,-
--------	---	----------	----------

Gesamtpreis, inkl. Montage: ca. Euro 104.680,-

Optionen (nur bei Bedarf):

Option 1	Alarmmodem zur Fernüberwachung und automat. Störungsmeldung	ca. Euro	2.000,-
----------	---	----------	---------



Im Einzelnen bieten wir an:

Pos. 1 1 Oberschlächtiges HydroWatt-Wasserrad in Segmentbauweise mit folgenden Nennkonstruktionsdaten

Fallhöhe:	$H_n = \text{ca. } 2,55 \text{ m}$
Schluckvermögen	$Q_n = \text{ca. } 0,5 \text{ m}^3/\text{s}$
Mechanische Leistung	$P_{\text{mech}} = \text{ca. } 7,2 \text{ kW}$
Elektrische Leistung:	$P_{\text{elektr}} = \text{ca. } 6,0 \text{ kW}$
Raddurchmesser	$D = \text{ca. } 2,1 \text{ m}$
Radbreite	$B = \text{ca. } 1,8 \text{ m}$
Drehzahl:	$n = \text{ca. } 14 \text{ U/min}$
Durchgangsdrehzahl	$n_d = \text{ca. } 30 \text{ U/min}$

Ausführung Radkranz/Schaufelkranz

Stahlschweißkonstruktion aus Stahl
in der Breite 2-teilig, mit versetzten Schaufeln,
in Segmentbauweise

Wasserradwelle mit folgenden Daten:

größter Wellendurchmesser	ca. $\varnothing 170 \text{ mm}$ lang
Wellenlänge	ca. 3.300 mm

Ausführung der Welle

Welle gedreht, Passflächen und Lagerstellen feingedreht;
Vormontage im Werk

Ausführung Wasserradlager

Wälzlager, rechnerische Lagerlebensdauer mind. 150.000 h,
ausgestattet mit Lippendichtringen,
Schmierfettversorgung (mind. 1 x pro Monat über Schmiernippel,
und kompletter Fettaustausch (1-2 x/a) durch Abnehmen des
Lagerdeckels).
Mit Lagergrundplatten und einer Spritzschutzhauben.

Korrosionsschutz

- Wasserberührte Teile - Radkranz und Radarme:
aus Stahl, feuerverzinkt
Anmerkung: Das Verzinken von Blechteilen kann durch den Wärmeeintrag zu leichten Verformungen bzw. zu Welligkeit von Blechteilen führen - Toleranz $\pm 0,5 \text{ cm/m} \cdot t$
- Sonstige wasserberührte Teile:
Nach Sandstrahlen Grundierung mit SicaCor Zink R 1x
Deckanstrich mit SicaCor SW 501 schwarz 2x
- Luftberührte Teile:
nach Sandstrahlen Grundierung Zinkstaubgrundierung 1x
Deckanstrich mit Kunstharzlack, RAL 5021 1x

Anlieferungszustand

Wellen und Radkranz soweit sinnvoll möglich fertig vormontiert,
sonst in Einzelteilen
inklusive aller erforderlichen Montagematerialien
technischer Dokumentation.

Preis:

Euro 39.360,-



Pos. 2 1 HydroWatt-Antriebseinheit für das Wasserrad,
bestehend aus einem Stirnradgetriebe, mit Getriebekonzole,
Generatorkonzole, Riementrieb und Riemenschutz,
für folgende Nenndaten:

Eingangsdrehzahl n_1 :	ca. 14 U/min
Eingangsleistung P_{mech} :	ca. 7,2 kW
Eingangsdrehmoment M_A :	ca. 4.911 Nm
Getriebenennmoment:	ca. ≥ 11.800 Nm
Anwendungsfaktor k_a :	ca. $\geq 2,3$
Rechnerische Lagerlebensdauer:	ca. ≥ 200.000 h
Verzahnung:	Ausgelegt auf Dauerfestigkeit nach DIN 3990
Generatordrehzahl:	ca. 1.000 U/min
Wirkungsgrad Getriebe:	ca. 94% bei Nennleistung
Wirkungsgrad Riementrieb:	ca. 98% bei Nennleistung

Ausführung:

- Sonderabdichtung der Getriebewellen, mit nachschmierbaren Fettlabyrinthen, für feuchte Umgebung und Hochwasserschutz
- Eingangswelle als Hohlwelle mit Schrumpfscheibe
- Ausgangswelle zylindrisch
- Öлтаuchschmierung mit Ölstandspießstab
- Farbgebung RAL 5021 oder nach Absprache
- Getriebege wicht ohne Anbauten ca. 0,32 to

Zusatzausstattung:

- Getriebekonzole
- Generatorkonzole
- Flachriementrieb mit Riemenschutz, vollständig geschlossen ausgeführt, ausgelegt für einen 6-poligen Generator

Anlieferungszustand:

- Fertig vormontiert, mit angebautem Riementrieb und Generator

Preis: **Euro 18.600,-**

Pos. 3 1 Drehstrom-Asynchrongenerator

Ausführung nach DIN 42673 und IEC 72-1 und 2:

Nennleistung:	7,5 kW
Nennspannung / -frequenz:	400 V / 50 Hz
Nenndrehzahl:	1.000 1/min
Bauform / Baugröße:	B3 / 160
Durchgangsdrehzahl:	max. 3-fach
Schutzart:	IP 55
Isolierstoffklasse:	F
Vollastwirkungsgrad:	ca. 91 %
Rechnerische Lagerlebensdauer:	mind. 50.000 Betriebsstunden
Lackierung, Farbton:	RAL 5021.

Mit Befestigungselementen und technischer Dokumentation.

Preis: **Euro 2.800,-**



- Pos. 4 1 Wellenabdichtung** für die Wasserradwelle und zum Anbau an die Wellendurchführung der Getriebeschachtwand.
Die Wellenabdichtung dient, in Verbindung mit einer bauseits vorzusehenden Leckwasserpumpe als Hochwasserschutz für die Antriebstechnik und den Generator.
Die Abdichtung wird ausgeführt als nachstell- und nachschmierbare Stopfbuchsabdichtung, mit einer feuerverzinkten Wandplatte zum Andübeln an die Schachtwand, mit Schmiernippel zur Nachschmierung, und folgenden Abmessungen:
Durchmesser der Maueröffnung ca. 300 mm
Durchmesser der Wasserradwelle ca. 140 mm
Komplett mit allen erforderlichen Befestigungselementen und technischer Dokumentation.
Preis: **Euro 2.900,-**
- Pos. 5 1 Zulaufrinne mit Tragkonstruktion,** bestehend aus:
Tragkonstruktion Zulaufrinne
1 Querträger (IPB 100) und 1 Stütze (IPB 100) zur Aufnahme der Lasten durch die Zulaufrinne, inkl. der Wasserlasten und zum Anbau an den Schachtwänden.
Komplett feuerverzinkt und mit allen erforderlichen Befestigungselementen.
Zulaufrinne
Ausführung aus verzinktem Stahlblech mit 2 Versteifungssäulen und 2 Spritzblechen:
Rinnenlänge ca. 3,0 m
Rinnenseitenwandhöhe ca. 0,5 m
Rinnenbreite ca. 1,5 m
Rinnenwandstärke ca. 5 mm
Vorbereitet zum Anbau der Einlaufschützanlage.
Stahlteile feuerverzinkt, mit allen erforderlichen Verbindungselementen.
Preis: **Euro 9.500,-**
- Pos. 6 1 Hydraulisch betätigte HydroWatt - Einlaufklappe,** zum Anfahren und Abstellen des Wasserrades, sie schaltet in Verbindung mit der Anlagensteuerung bei Störung und Netzausfall das Wasserrad automatisch ab.
Breite: ca. 1,5 m
Klappenlänge: ca. 0,6 m
Hydraulikaggregat/Turbinenverstellaggregat Mikro-E1
zur Betätigung der Einlaufklappe über einen einfachwirkenden Hydraulikzylinder, gemäß nachfolgender Spezifikation
1 Hydrauliktank
1 Drehstrompumpenmotor mit Zahnradpumpe
1 2/2-Sitzventil
2 Drosselventilen zur Einstellung der Öffnungs- und Schließgeschwindigkeiten
Eingebaut in Steuerschrank, mit Hydraulikleitung bis max. 10 m Länge
Hydraulikanlage geeignet für biologisch abbaubares synthetisches Hydrauliköl.
Ausführung
geschweißte Stahlkonstruktion
feuerverzinkt, soweit technisch sinnvoll,
mit Hydraulikzylinder und Anbaumaterial,
Farbgebung Aggregat und Zylinder in RAL 5021.
komplett einbaufertig vormontiert zum Anbau.



Im Automatikbetrieb wird die Klappe hydraulisch geschlossen gehalten. Die Klappe kann im Handbetrieb stufenlos eingestellt werden. Es ist jedoch zu beachten, dass in dieser Betriebsart ein technisch bedingtes langsames Absinken der Klappe erfolgen kann und deshalb in regelmäßigen Abständen (z. B. täglich) eine Kontrolle / Nachjustierung notwendig ist.

Komplett mit allen erforderlichen Befestigungselementen und technischer Dokumentation.

Preis: Euro 8.520,-

Pos. 7 1 HydroWatt-Steuersystem/Schaltanlage

für einen Asynchrongenerator mit einer Nennleistung von **7,5 kW**, bestehend aus:

Mess- und Steuerungsteil mit folgenden Aufgaben:

- Automatisches Zuschalten des Generators bei Erreichen der Zuschaltdrehzahl
- Störungsüberwachung und Störungsanzeige
- Abschalten der Anlage bei auftretenden Störungen über:
 - Öffnen der Einlaufklappe und Netztrennung des Generators

Steuersystem bestehend aus:

Leistungsteil

- 1 dreipoliger Lasttrennschalter (zur Abschaltung der Gesamtanlage)
- 1 Sicherungsabgang für den Generator
- 1 Sicherungsabgang für den Steuerstrom
- 2 Leistungsschutz für den Generator
- 1 Stromwandler im Generatorpfad

Kompensationseinrichtung

zur Blindstromkompensation (Festkompensation), bestehend aus:

- Sicherungsabgang
- Kondensatorzuschalterschütz
- Kondensatoren mit Entladewiderständen zur Kompensation für Leistungsfaktor > 0,9 induktiv

- Kondensatorzuschaltüberwachung

Steuer- und Überwachungsteil bestehend aus folgenden Komponenten:

Steuer- und Überwachungsteil für die Gesamtanlage

gemäß Anwendungsregel VDE-AR-N 4105:2018-11 mit Störungsanzeige

- dreiphasige Spannungsüberwachung für Unter- und Überspannung
- Frequenzüberwachung für Unter- und Überfrequenz

Steuer- und Überwachungsteil für den Generator:

- Überstrom/Kurzschlusschutz gemäß den DIN und VDE-Vorschriften
- Generatordrehzahlüberwachung
- Minderleistungsüberwachung

Störmeldeinheit

für die Störungsanzeige/Anzeige von folgenden Störungen:

- Unter-/Überspannung
- Unter-/Überfrequenz
- Minderleistung
- Unter-/Überdrehzahl



Anzeigeelemente:

- **Multifunktions Mess- und Anzeigegerät** (auch geeignet als ungeeichter kWh-Zähler zur Messung der Eigenerzeugung)
- Leuchtmelder "Generator am Netz"
- Leuchtdrucktaster "Störung/Quittierung"

Bedienelemente:

- Not-Aus Hauptschalter

Das Steuersystem wird eingebaut in einen Stahlblechschrank. Dieser sollte witterungsgeschützt in der Nähe des Generators aufgebaut werden.

Die Steuerung und Überwachung der Gesamtanlage wird realisiert mit einer SPS (mit Display und Eingabetastatur) und erfüllt alle Mindestanforderungen für den netzparallelen Betrieb eines Asynchrongenerators.

Nach dem Einschalten bzw. nach Netzstörungen wird das Wasserrad manuell angefahren. Bei Störungsfreiheit und mit Erreichen der Zuschaltdrehzahl schaltet der Generator automatisch ans Netz.

Zum Lieferumfang gehört eine technische Dokumentation mit Stromlaufplan, Bedienungsanleitung sowie Beschreibungen der wesentlichen Einzelkomponenten.

In der Steuerungsanlage sind keinerlei Sicherungsabgänge zu Unterverteilungen zur Wohn- bzw. Kraftwerksinstallation oder Abgänge für Licht und Steckdosen enthalten.

Preis: **Euro 6.000,-**

Anmerkungen:

Die Netzanbindung (Verbindung zwischen den netzseitigen Ausgangsklemmen der HydroWatt-Schaltanlage und dem Hausanschluss/Zählerschrank) wird kundenseitig, bzw. durch einen qualifizierten und vom zuständigen Energieversorgungsunternehmen konzessionierten, örtlichen Elektrofachbetrieb (z. B. „Hauselektriker“) vorgenommen.

Die Anforderungen an die Netzüberwachungsfunktionalität können regional und je nach Energieversorgungsunternehmen (EVU) sehr unterschiedlich sein und damit auch die Kosten (Mehrkosten bis zu 1.000,- Euro) für die geforderten Geräte sowie den Aufwand zur technischen Klärung. Wir empfehlen Ihnen, diese Anforderungen frühzeitig mit dem zuständigen EVU zu klären. Beachten Sie hierzu bitte auch unseren Vortext zur Schaltanlage/Steuerung auf Seite 2.

Option 1 1 Alarmmodem zur Fernüberwachung und automatischen Störungsmeldung,

ANbindung über Ethernet (optional Wlan) oder LTE/GSM. Senden von Alarmmeldungen als E-Mail, SMS oder via MQTT. Zum senden von SMS ist eine SIM Karte erforderlich.

Komfortfunktionen wie Fernparametrierung, Web-Server, Variablenzugriff.

Preis: **Euro 2.000,-**



Pos. 8 Montage- und Inbetriebnahmearbeiten

Demontage-, Remontage- und Inbetriebnahmetätigkeiten, Wartungsarbeiten sowie Ortstermine für Zustandsuntersuchungen, Maßaufnahmen, Bauabsprachen und Bauabnahmen, werden wir nach Zeitznachweis gemäß unserer jeweils gültigen "HydroWatt Montagepreis Europa" und gemäß unseren "Allgemeine Liefer- und Montagebedingungen" in Rechnung stellen.

Zur Ermittlung der Montagekosten gehen wir davon aus, dass kundenseitig zeitweise eine fachlich geeignete und ortskundige Hilfskraft beigelegt wird. Desweiteren gehen wir davon aus, dass die Arbeitsbereiche zum Zeitpunkt der Montage wasserfrei, gereinigt und mit normalem Schuhwerk begehbar sind.

Baustelleneinrichtung, Baustellenabsicherung, Herstellen von Fundamenten, Zweitbetonarbeiten und Anschlüsse an die bestehende Bausubstanz, sowie die Verlegung von Leerrohren, Kabelkanälen und Kabeln, die Herstellung des Netzanschlusses und der Übergabestelle (Zählerschrank) für das EVU, sind bauseits auszuführen.

Wasserrad, Antriebstechnik, Generator, 2 Schützenanlagen, Wellenabdichtung, Zulauftrinne und Schaltanlage/Steuerung

Inkl. einer zusätzlichen Anreise eines Technikers zur Inbetriebnahme

Umfang: Aufstellung der Bauteile auf bauseits vorbereitete Fundamente gemäß unseren Vorgaben, Vorbereiten zum Ausbetonieren, Endmontage, Inbetriebnahme, Probelauf und Einweisung.

Inkl. Transport – jedoch ohne Entlade- und Kranarbeit vor Ort (Stückgewicht max. ca. 1,5 to).

Preis: **ca. Euro 20.000,-**

Anmerkungen:

- Nicht in unserem Montageumfang enthalten, bzw. kundenseitig zu erbringen, sind:*
- sämtliche Beton- und Vergussarbeiten, sowie Stemm- und Kernbohrarbeiten
 - Erdarbeiten und Wasserhaltung für den Baustellenbereich
 - Verlegen von Kabeln und Leerrohren für Elektroleitungen und Hydraulikschläuche
 - Erdverkabelung, Zuleitung und Zuleitungsanschluss, sowie ggf. Potentialausgleich
 - allg. Elektroinstallationen für Beleuchtung u. Stromanschlüsse im Maschinenhaus
 - Hebezeuge (Autokran), bzw. Baukranzeiten
 - falls der Montageort überdacht ist (z. B. der Wasserradschacht) - Händlingshilfen nach unseren Angaben, wie z. B. Kranschielen, Anhängemöglichkeiten, usw., zum Ein- oder Ausbringen der Maschinenteile
 - Personenschutzeinrichtungen wie Gerüste, Geländer, Absperrungen, usw.
 - Fundamente in maßgerechtem und abgebundenem Zustand
 - ein versperrbarer Raum zur Aufbewahrung von Kleinteilen und Werkzeugen
 - Baustromanschluss 1 x 16 Amp., 1 x 32 Amp. Drehstrom, sowie Lichtstrom
 - Aufenthaltsraum (beheizbar) und Sanitäre Einrichtungen für das Montagepersonal



Unser Liefer- und Zahlungsbedingungen

Montageort	A-
Lieferzeit	ca. 4 - 5 Monate nach Auftragsvergabe und technischer Klärung; Einbauzeichnungen können wir kurzfristiger erstellen.
Gewährleistungsfrist	Auf von uns gelieferte Neuteile 24 Monate nach Inbetriebnahme, längstens jedoch 24 Monate nach Lieferung oder Meldung der Versandbereitschaft. Elektronische Bauteile und Verschleißteile sind davon ausgenommen.
Preisstellung	netto, zzgl. Mehrwertsteuer, verpackt ab Werk.
Angebotsbindedefrist	2 Monate, Zwischenverkauf vorbehalten. Sollten sich die Material- und Einkaufspreise bis zum Bestellzeitpunkt um mehr als 5% erhöhen, behalten wir uns eine Preisanpassung vor. Das Angebot ist auf Grundlage der derzeitig außergewöhnlich hohen Materialpreisen erstellt. Sollten sich diese in absehbarer Zeit wieder normalisieren werden wir bereit Preise entsprechend anzupassen.
Zahlungsbedingungen	30% nach Erhalt der Auftragsbestätigung 30% nach halber Lieferzeit 30% nach Lieferung oder Meldung der Versandbereitschaft der Anlagenteile. Rest nach mängelfreier Inbetriebnahme und förmlicher Abnahme durch den Kunden, spätestens jedoch 4 Wochen nach Lieferung oder Meldung der Versandbereitschaft, sofern eine Verzögerung der Inbetriebnahme nicht durch unser Verschulden erfolgt.

Alle Angaben in unserem Angebot basieren auf dem Stand des Angebotsdatums. Technische Änderungen und Verbesserungen durch Weiterentwicklungen und Neuerungen behalten wir uns vor.

Unserer Lieferumfang umfasst die Erstellung und Aushändigung von Einbauplänen über sämtliche baurelevanten Komponenten unseres Auftrags, die entsprechenden Wartungs- und Bedienungsanweisungen und eine technische Dokumentation.

Nachträgliche Änderungen (nach Auftragsvergabe und Abschluss der technischen Klärung und Konstruktion) an technischen oder geometrischen Bedingungen (z. B. Versetzen einer Mauer, Änderung der Auslegungsbedingungen, oder ähnlichem) welche Auswirkungen auf unsere Konstruktion oder unseren Lieferumfang haben, oder nachträglich von Ihnen gewünschte Änderungen, sind nicht in den angegebenen Preisen enthalten und werden ggf. entsprechend dem Aufwand in Rechnung gestellt.

Unser Betrieb ist zertifiziert nach DIN EN 1090 und produziert nach Ausführungsklasse EXC 2. Unsere feuerverzinkten Produkte sind gemäß DIN EN ISO 1461 beschichtet.

In unserem Lieferumfang nicht enthalten sind Bauausführungs- und Armierungspläne, insbesondere für genehmigungspflichtige Bauanträge. Diese müssen vom Auftraggeber gesondert veranlasst und von einem bauvorlageberechtigten Planer/Statiker geprüft und unterzeichnet werden. Nicht enthalten sind auch die Berechnung etwaiger Verluste vor und nach dem Krafthaus.

Nicht enthalten sind Bauarbeiten aller Art, wie zum Beispiel Beton- oder Zweibetonarbeiten, Abbrucharbeiten oder die Herstellung von Durchbrüchen. Wir gehen davon aus, dass diese Arbeiten bauseits gemäß unseren Vorgaben ausgeführt werden.

Nicht enthalten sind die Verlegung von Leerrohren, Kabelkanälen und Kabeln, die Herstellung der Netzanbindung und der Übergabestelle (Zählerschrank, manuelle Trenneinrichtung) für das Energieversorgungsunternehmen. Wir gehen davon aus, dass diese Arbeiten kundenseitig, bzw. durch einen örtlichen Elektrofachbetrieb, gemäß den jeweils geltenden Vorschriften ausgeführt werden. Als Schnittstelle für unseren Lieferumfang gelten unser Angebot und die netzseitigen Ausgangsklemmen an unserem Steuerschrank.



Ebenfalls nicht enthalten sind Einrichtungen zum Personenschutz wie Geländer, Treppen, Absperrungen, Absturzsicherungen, usw., soweit sie nicht ausdrücklich in unserem Angebot aufgeführt sind.

Enthalten sind die Kosten für die Erstbefüllung der erforderlichen Hilfs- und Betriebsstoffe wie zum Beispiel Öle, Fette und das für unseren Lieferumfang erforderliche Installationsmaterial.

Diesem Angebot liegen unsere "Allgemeine Liefer- und Montagebedingungen" zugrunde.

Demontage-, Montage- und Inbetriebnahmetätigkeiten, Wartungsarbeiten, sowie Ortstermine für Zustandsuntersuchungen, Maßaufnahmen, Bauabsprachen und Bauabnahmen werden wir nach Zeitrachweis, gemäß unseren jeweils gültigen "HydroWatt Montagepreise Inland" und unseren "Allgemeine Liefer- und Montagebedingungen" in Rechnung stellen.

Wir möchten darauf hinweisen, dass dieses Angebot speziell für Sie erstellt worden ist und wir von unserem Urheberrecht Gebrauch machen. Für Vervielfältigung oder Weitergabe ist unsere schriftliche Genehmigung erforderlich.

Sie können dieses Schreiben gerne als Bestellung und Auftragsbestätigung unterschrieben an uns zurücksenden.

Über Ihren Auftrag würden wir uns sehr freuen und sichern Ihnen die sorgfältige und zügige Bearbeitung zu. Für Rückfragen können Sie jederzeit gerne Kontakt mit uns aufnehmen.

Mit freundlichen Grüßen - **HydroWatt GmbH**

Reinhard Schäfer, Dipl.-Ing.
(Auftragnehmer)

Datum/Unterschrift (Auftraggeber)

Anlagen:
- HydroWatt Montagepreise Europa 2022
- Allgemeine Liefer- und Montagebedingungen 2020

Von: Jörg Schmidt <schmidt@jena-geos.de>
Gesendet: Montag, 26. September 2022 09:53
An: Hafemann, Jakob
Cc: Christiane Büttner; Kersten Roselt
Betreff: AW: Kostenschätzung hydrologisches Gutachten Schweina

Sehr geehrter Herr Hafemann,

die Kosten für ein hydrologisches Gutachten sind stark vom Untersuchungsumfang (Messungen, Modellierungen, hydraulische Berechnungen) und den bereits vorliegenden Daten abhängig. Sind umfangreiche Datenerhebungen und Modellierungen erforderlich können die Kosten über 50.000 € betragen. Für überschlägige Kostenbetrachtungen können Sie das Gutachten mit 10.000 € ansetzen.

Für Rückfragen stehe ich Ihnen gern zur Verfügung.

Glück auf!

Jörg Schmidt
Geschäftsführender Gesellschafter



JENA-GEOS®-Ingenieurbüro GmbH
Saalbahnhofstraße 25c
07743 Jena

Tel.: +49 (0) 3641 4535-32
Mobil: +49 (0) 162 139 6268
Fax: +49 (0) 3641 442806
E-Mail: schmidt@jena-geos.de
info@jena-geos.de
Homepage: www.jena-geos.de

Von: Hafemann, Jakob <Jakob.Hafemann@stud.eah-jena.de>
Gesendet: Samstag, 24. September 2022 11:30
An: schmidt@jena-geos.de
Betreff: Kostenschätzung hydrologisches Gutachten Schweina

Hallo Herr Schmidt,

für das Quartierskonzept Schweina arbeite ich im Rahmen meiner Bachelorarbeit an der Prüfung der Machbarkeit von Wasserkraft in Schweina.

Ein hydrologischen Gutachten scheint offiziell für die Genehmigung einer Wasserkraftanlage unumgänglich. Daher würde ich gerne die ungefähren Kosten so eines Gutachtens mit aufnehmen.

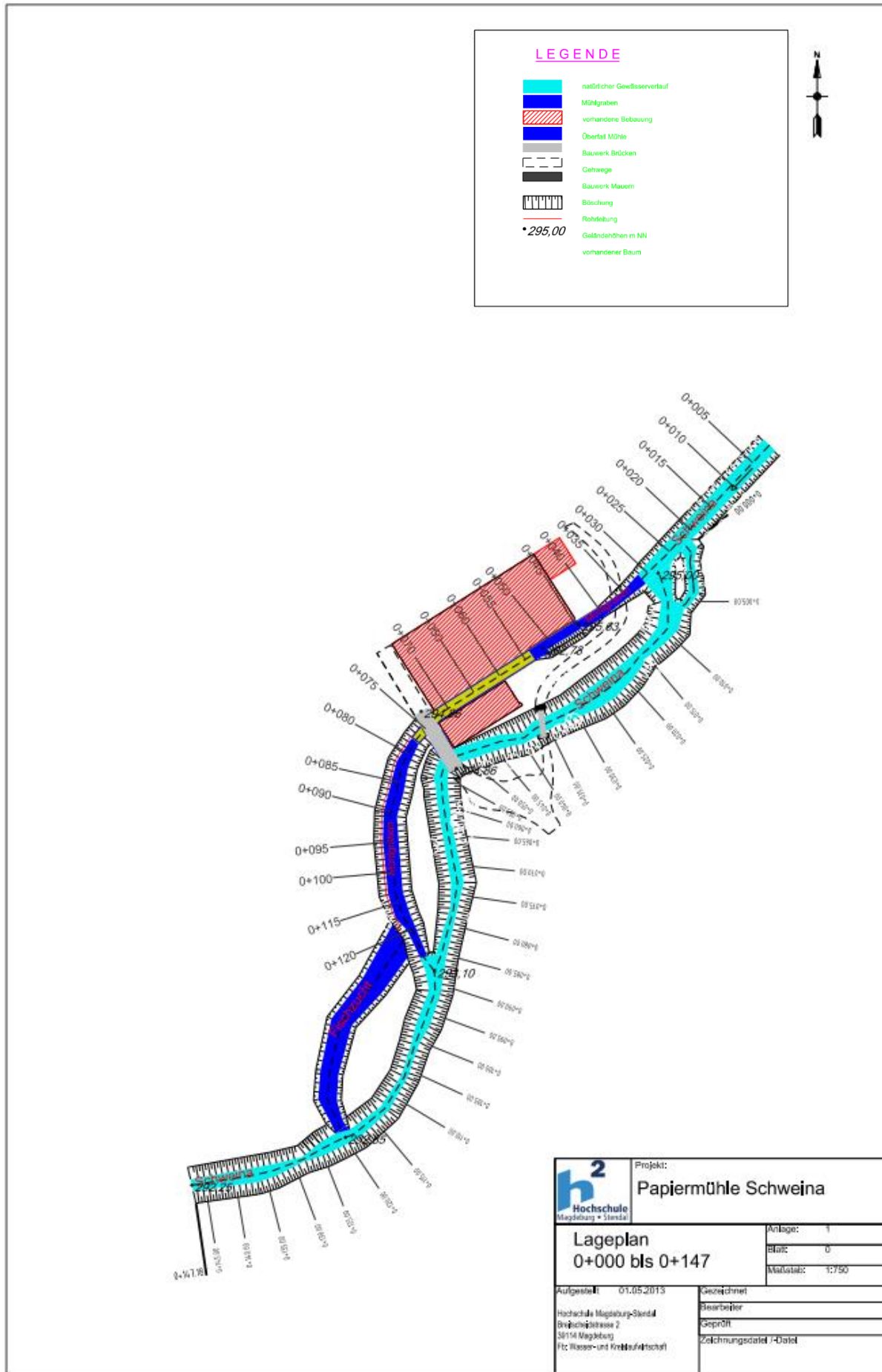
Könnten Sie bitte dazu eine Aussage treffen?

Bachelorarbeit von Jakob Hafemann – Kleinwasserkraftanlage in Schweina – Anhang C: Persönliche Mitteilungen
mit Anhängen

Mit freundlichen Grüßen,

Jakob Hafemann

Anhang D
Lageplan der Oschmannschen Papiermühle (Buchholz, 2013)



Anhang E
Beispielrechnung zum Maximal- und Minimalfall

Im Folgenden sollen die Annuitäten für den Maximal- und Minimalfall nach VDI 2067-1 berechnet werden. Zur Übersicht sollen zunächst die angenommenen Minimal- und Maximalwerte zur Ermittlung des Potentials in Tabelle E1 (Tabelle 2 im Text) wiederholt werden.

Tabelle E1: Angenommene Minimal- und Maximalwerte zur Potentialbestimmung einer Wasserkraftnutzung in Bad Liebenstein/ OT Schweina (Thür.); Gesamtwirkungsgrad $\eta_{ges} = 0,59$.					
Fall	Durchflussmenge Q [m ³ /s]	Fallhöhe H [m]	el. Leistung P _{el} [kW]	Volllaststunden t _v [h/a]	el. Jahresarbeit W _{el} [kWh/a]
Maximum	0,35	4	7,6	6.000	45.322
Minimum	0,15	2,5	2,0	5.000	10.117

Die Investitionskosten ergeben sich aus dem Musterangebot der HydroWatt GmbH (Anhang C). Die Kosten wurden der Größe der Anlage prozentual angepasst (Tabelle E2; Tabelle 3 im Text)).

Tabelle E2: Investitionskosten möglicher WKAn in Schweina; Maximalfall entspricht 100 %, der Minimalfall 50 % des Musterangebots der <i>Hydrowatt GmbH (Anhang C)</i> , Kosten für Netzanschluss nach WerraEnergie GmbH (2022)			
Pos.	Bezeichnung	Maximalfall	Minimalfall
1	Netzanschluss	1.700,00 €	1.700,00 €
2	Wasserrad + Lager	39.360,00 €	19.680,00 €
3	Antriebseinheit	18.600,00 €	9.300,00 €
4	Generator	2.800,00 €	1.400,00 €
5	Stopfbuchsenabdichtung	2.900,00 €	1.450,00 €
6	Zulaufrinne mit Tragkonstruktion	9.500,00 €	4.750,00 €
7	hydr. Entlastungsklappe	8.520,00 €	4.260,00 €
8	Schaltanlage/ Steuerung	6.000,00 €	3.000,00 €
9	Montage	17.000,00 €	8.500,00 €
	Summe	106.380,00 €	54.040,00 €

Eine Übersicht zu den angenommenen Zinsen, Preisänderungen und Betrachtungszeitraum sowie des daraus resultierenden Annuitätsfaktor bietet Tabelle E3. Aus den Formeln in Kapitel 7.1 ergeben sich die Werte der Tabelle E4 (Maximalfall) und Tabelle E5 (Minimalfall). Die Angaben zur Nutzungsdauer der einzelnen Anlagenkomponenten ergibt sich aus dem Anhang der VDI 2076-1 und den AfA-Tabellen des BMF (1995).

Tabelle E3: Angenommene/r Zinssatz, Preisänderung und Betrachtungszeitraum sowie des daraus resultierenden Annuitätsfaktor					
Zinssatz	5%	Zinsfaktor q	1,05	Annuitätsfaktor a	0,06505
Preisänderung	3%	Preisänderungsfaktor r	1,03	Betrachtungszeitraum T [a]	30

Tabelle E4: Annuitäten für eine WKA mit Fallhöhe H= 4 m und Durchflussmenge Q= 0,35 m³/s (100 % vom Musterangebot Hydrowatt GmbH Anhang C)								
Pos.	Bezeichnung	A ₀	T _N [a]	n	A ₁	A ₂	R _w	A _{N,K}
1	Netzanschluss	1.700,00 €	30	0	- €	- €	- €	110,59 €
2	Wasserrad + Lager	39.360,00 €	30	0	- €	- €	- €	2.560,42 €
3	Antriebseinheit	18.600,00 €	20	1	12.661,10 €	- €	3.886,41 €	1.780,76 €
4	Generator	2.800,00 €	20	1	1.905,97 €	- €	- €	306,13 €
5	Stopfbuchsen- abdichtung	2.900,00 €	10	2	2.392,64 €	1.974,04 €	- €	472,71 €
6	Zulaufrinne mit Tragkonstruktion	9.500,00 €	30	0	- €	- €	- €	617,99 €
7	hydr. Entlastungsklappe	8.520,00 €	20	1	5.799,60 €	- €	1.780,23 €	815,70 €
8	Schaltanlage/ Steuerung	6.000,00 €	15	1	4.496,45 €	- €	- €	682,81 €
9	Montage	17.000,00 €	-	-				1.105,87 €
	Summe	106.380,00 €			27.255,77 €	1.974,04 €	5.666,63 €	7.347,12 €

Tabelle E5: Annuitäten für eine WKA mit Fallhöhe H= 2,5 m und Durchflussmenge Q= 0,15 m³/s (50 % vom Musterangebot Hydrowatt GmbH)

Pos.	Bezeichnung	A ₀	T _N [a]	n	A ₁	A ₂	R _w	A _{N,K}
1	Netzanschluss	1.700,00 €	30	0		- €	- €	110,59 €
2	Wasserrad + Lager	19.680,00 €	30	0	- €	- €	- €	1.280,21 €
3	Antriebseinheit	9.300,00 €	20	1	6.330,55 €	- €	1.943,20 €	890,38 €
4	Generator	1.400,00 €	20	1	952,99 €	- €	292,53 €	134,04 €
5	Stopfbuchsen- abdichtung	1.450,00 €	10	2	1.196,32 €	987,02 €	- €	236,35 €
6	Zulaufrinne mit Tragkonstruktion	4.750,00 €	30	0	- €	- €	- €	308,99 €
7	hydr. Entlastungsklappe	4.260,00 €	20	1	2.899,80 €	- €	890,11 €	407,85 €
8	Schaltanlage/ Steuerung	3.000,00 €	15	1	2.248,23 €	- €	- €	341,40 €
9	Montage	8.500,00 €	-	-	- €	- €	- €	552,94 €
	Summe	54.040,00 €			13.627,88 €	987,02 €	3.125,84 €	4.262,76 €

Die Stromgestehungskosten ergeben sich aus dem Quotienten der Summe aller Annuitäten $A_{N,K}$ und dem jährlich erzeugten Stromertrag.

$$Stromgestehungskosten_{Max} = \frac{7.347,12 \frac{\text{€}}{\text{a}}}{45.322 \frac{\text{kWh}}{\text{a}}} \cdot 100 \frac{\text{ct}}{\text{€}}$$

$$= 16,21 \text{ ct/kWh}$$

$$Stromgestehungskosten_{Min} = \frac{4.262,76 \frac{\text{€}}{\text{a}}}{10.117 \frac{\text{kWh}}{\text{a}}} \cdot 100 \frac{\text{ct}}{\text{€}}$$

$$= 42,14 \text{ ct/kWh}$$