



Stefanie Turzer, 2011

Projektbeschreibung

„Die Mühle e.V.“

Energiegruppe

Am Zainhammer 3b

16225 Eberswalde

Juli 2019

Ansprechpartner: Dipl.-Ing. (FH) Steffen Weber, Dipl.-Ing. (FH) Franziska Blankenburg

Projektidee

Tagtäglich laufen viele Liter Wasser unterhalb der Zainhammermühle am Zainhammer 3b hindurch. Die Mühlenbesucher lauschen und sehen einen Moment das rauschend fließende Wasser unter unserer Mühle durchlaufen. Was würde aus der Mühle werden, wenn wir diese Energie für uns nutzen könnten? Vielleicht eine beheizte Mühle? Oder eine beleuchtete Mühle, ganz ohne externe Energiequellen? Oder eine Ladestation für eBikes entlang der Erlebnisachse Schwärzese?

Projekt „Energie aus Wasserkraft“ des Vereins „Die Mühle e.V.“

Vorstellung des Vereins

Die Mühle e.V. ist ein Verein zur Förderung und Wahrung künstlerischer Tätigkeiten und zur Erhaltung der Zainhammer Mühle. Der Zweck des Vereins ist die Förderung zeitgenössischer Kunst, die Kunstvermittlung, die Förderung des künstlerischen Nachwuchses und die künstlerische Zusammenarbeit mit verschiedenen Menschengruppen. Zweck ist ebenfalls die Erhaltung der Zainhammermühle als letzter Mühle im Schwärzetal und als Ort der aktiven Teilnahme am kulturellen Leben, sowie der praktisch ästhetischen Bildung interessierter Bürgerinnen und Bürger. Derzeit hat der Verein über 200 Mitglieder. Der Verein ist Mitglied im Verein „Mühlenvereinigung Berlin-Brandenburg e.V.“

Projektziel

Im Jahr 2016 trafen sich erstmalig 6 ehrenamtliche Mühlenmitglieder um sich ein paar Gedanken zur Energienutzung durch Wasserkraft zu machen. Ziel des gesamten Vorhabens ist es, die Wasserkraft die unterhalb der Mühle derzeit ungenutzt durchfließt in einer noch unbestimmten Form nutzbar zu machen.

Als erstes Hauptziel war die Instandsetzung und die Inbetriebsetzung der Francis Wasserturbine von den Mitgliedern angestrebt worden. Nach intensiver Auseinandersetzung mit den behördlichen wasserrechtlichen, denkmalrechtlichen und eigentumsrechtlichen Aufgaben und Pflichten ist dieses erste Hauptziel in eine Art Ruhezustand versetzt worden. Das jetzt im Frühjahr 2019 neu definierte Ziel beschäftigt sich mit einer neu zu errichtenden mechanischen und elektrischen Struktur um Wasserkraft in der Mühle nutzbar zu machen. Es soll die Möglichkeit genutzt werden, als Anschauungs- und Energieerzeugungsobjekt ein neues Wasserrad zu installieren. Damit könnte einerseits dargestellt werden, wie historisch die Wasserkraft zur Nutzung für den Menschen diente und /oder der ursprüngliche Zweck der Mühle- ein Werk zur Herstellung von Zainen – als Bindeglied zeitlich unterschiedlicher Nutzungen der Mühle zu zeigen. Es soll über einen Generator Strom erzeugt werden.

Bei Wasserrädern werden drei Arten unterschieden. Die nachfolgende Grafik verdeutlicht diesen Unterschied. In unserem ersten Entwurf wird aufgrund der vorliegenden Fallhöhe (ca. 2,50 m) und des Volumenstromes von

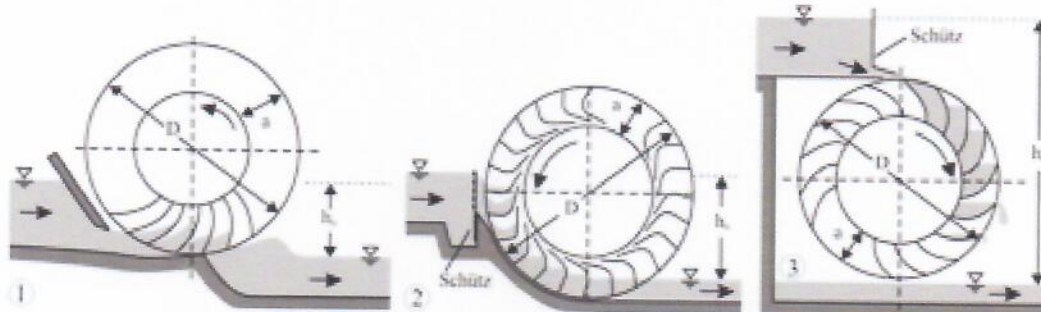


Abb. 2: Haupttypen von Wasserrädern: 1) unterschlächtiges Schaufelrad; 2) mittelschlächtiges Zellenrad, 3) überschlächtiges Zellenrad [nach Giesecke, Mosonyi, Heimerl, 2009]

durchschnittlich ca. 0,5 cbm/s ein überschlächtiges Wasserrad angestrebt. Diese Variante bietet unserer Meinung nach den höchsten Wirkungsgrad von max. 0,8 (siehe Tabelle).

Tab. 1: Zusammenfassung der Haupteinsatzbereiche und der jeweiligen wesentlichen Kennwerte der verschiedenen Wasserradtypen [nach Giesecke, Mosonyi, Heimerl, 2009; Nuernbergk, 2012a]

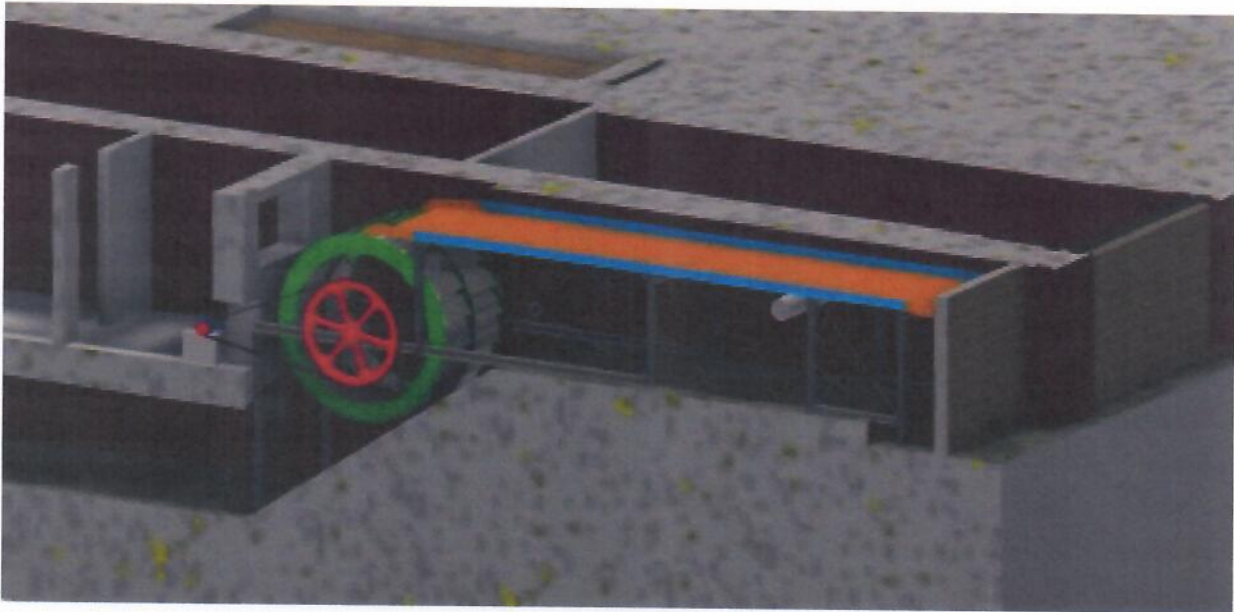
Typ des Wasserrades (WR)	h_t [m]	Q_{max} [m ³ /s]	η [-]	$P_{moch,max}$ [kW]	Q_{spez} [m ³ /(s · m)]	Bemerkung
1. Unterschlächtiges WR	0-1,5	1-4	0,30 (max. 0,55)	12	0,80	$\eta = 0,55$ nur bei gekrümmten Schaufeln; i. d. R. unwirtschaftlich
2a. Mittelschlächtiges WR (Zuppinger-WR)	1-3	0,5-3,75	0,75 (max. 0,80)	83 (meist <50)	0,75	$\eta = 0,80$ nur bei langsam umlaufenden WR ($u_t < 1,3$ m/s)
2b. Mittelschlächtiges WR (Bachsches Kullissenrad)	1,5-3,5	0,5-3,25	0,80 (max. 0,85)	90 (meist <50)	0,65	-
3. Überschlächtiges WR	2,5-10	0,05-1,15	0,80 (max. 0,85)	90 (meist <50)	0,23	$\eta = 0,85$ nur bei vollständig ausgerundeten Blechzellen

Haupttypen von Wasserrädern aus „Hydraulische Strömungsmaschinen für kleine Durchflüsse und niedrige Fallhöhen“, Stephan Heimerl und Beate Kohler, 43. IWASA, Köln 2013

Wesentliche Kennwerte der Wasserradtypen aus „Hydraulische Strömungsmaschinen für kleine Durchflüsse und niedrige Fallhöhen“, Stephan Heimerl und Beate Kohler, 43. IWASA, Köln 2013

Die Besonderheit des neu zu errichtenden Wasserrades wäre der Standort in einer der Archen. Die nördliche und damit schmalere Arche bietet unserer Meinung nach die besten Voraussetzungen für die Installation und den Betrieb eines Wasserrades. Bei der konstruktiven Gestaltung des Einlaufes und des Rades wurde auf eine

denkmalschutz-, wasserschutz- und naturschutzrechtliche genehmigungsfreie Anlage besonderen Wert gelegt. Wir streben eine Anlage an, die mit einer Anzeigepflicht bei den zu genehmigenden Behörden abgegolten sein soll.



Visualisierung des möglichen Wasserrades in der nördlichen Arche ohne Darstellung der Außenwand

Für die Visualisierung der danach erzeugten Strommenge und die mechanische Bewegung des Wasserrades soll ansprechende Videotechnik/Anzeigen und Beleuchtungstechnik installiert werden. Ein freier Zugang zum Wasserrad kann nicht dargestellt werden.

Projektablauf

Für die Durchführung des Projektes wird eine Laufzeit von 3 Jahren angesetzt.

Planung , Vorbereitung und Klärung der Finanzierung

Beginn : 01.06.2019

Ende : 31.12.2019

Ertüchtigung des Wehres und des Baukörpers.

Beginn : 01.10.2019

Ende : 31.10.2019

Beschaffung der Bauteile und Herstellung von Wasserrad und Einlaufrinne

Beginn : 01. 01. 2020

Ende : 30. 06. 2021

Montage und Inbetriebnahme

Beginn : 01. 07. 2021

Fertigstellung und Beendigung der Maßnahme : 30.10.2021

Derzeitige Situation

Baulich gibt es zwei Archen die über einen Bypass miteinander verbunden sind. Die südliche Arche ist derzeit durch ein Wehr soweit es möglich ist, ohne Durchfluss (siehe Bild 1). Kleinere Mengen gelangen durch das Wehr. Des Weiteren ist die Sohle der größeren Arche durch den Bypass und den Unterlauf der zweiten kleineren Arche stets mit Wasser gefüllt. In der zweiten Archen befindet sich ebenfalls eine Balkenlage als Wehr im Bereich des Oberlaufes. Diese lässt jedoch eine definierte Menge an Wasser als Überlaufwasser durch. Der sich im Oberlauf befindliche Teich verfügt über zwei weitere Abläufe. Erstens existiert eine Fischtreppe die durch das Grundstück der Zainhammermühle fließt. Des Weiteren gibt es einen Überlauf für eine geschlossene Fischzuchtanlage nördlich der Mühle.



Bild 1: Balkenlage im Oberlauf in der Arche für die Turbine. Aufgrund von Verschleiß gelangt Wasser durch die Balkenlage und fließt derzeit über einen Ablauf in die Arche.

Bild 2. Detailansicht des Turbineneinlaufes (links die Verstellmechanik für die Drosselklappen)



Bild 3: Ansicht von Osten (Unterlauf); in der linken Arche befindet sich der Turbinenauslauf, in der rechten Arche könnte das Wasserrad installiert werden

Bild 4: Detailansicht in der Arche (vermutlich: Darstellung der Bauzeit und des Auftraggebers)

Die Elektroinstallation des gesamten Gebäudes einschließlich des Hausanschlusses wurde 2015 erneuert und die Leistung des Hausanschlusses ist für die Einspeisung in das öffentliche Netz von ca. 5 kW vorgesehen.

„Machbarkeitsbewertung“

Im Vorfeld der Projektskizze wurden Mühlen (Wasserräder) ähnlicher Bauart besichtigt und ein Literaturstudium und eine überschlägige Berechnung zum Wirkungsgrad ermittelt.

Entwurfsplanung unter Berücksichtigung des Bestandes

Ein erster Entwurf des Wasserrades wurde digital in einem CAD-Programm konstruiert. In diesem digitalen Modell wurden auch die baulichen und technischen Bestandssituationen der Archen berücksichtigt. Weitere Informationen können der Zeichnung im Anhang entnommen werden.

Aufwand (Kosten)

Die Ermittlung von Kosten zur Planung und Genehmigung, Herstellung und Einbau sowie Inbetriebnahme eines Wasserrades in dem Wasserlauf der Arche und im Keller der Mühle inklusive der technischen Einrichtungen zur Einspeisung der gewonnenen Energie sowie der Visualisierung der Ergebnisse nach außen ist auf Grund fehlender Erfahrungen nur eine erste Abschätzung. Die nachfolgenden Kostenbeträge enthalten nicht die gewünschten peripheren Einrichtungen wie eine Ladestation für Elektroräder/Roller und eine Station zur Speicherung der gewonnenen Energie. Diese Einrichtungen könnten jederzeit in einem zweiten Bauabschnitt ergänzt werden.

Planung, Dokumentation, Genehmigung, Kontrolle

6 000,00 €

Kosten für Einkaufsteile (Normteile, Motor, Getriebe, Lager, Schrauben, Kabel und Leitungen, Sensoren, Visualisierungstechnik) und Material (Baustahl, Bleche, Holz und Träger)

13 000,00 €

Herstellungskosten (Zuschnitt, Bearbeitung, Formgebung) für Rinneneinlauf, Wasserführung in der Arche und Wasserrad.

13 000,00 €

Bauseitige Maßnahmen, Befestigungen, Ausbesserungen in der Arche, Fremdleistungen zur Wehrrüchtigung.

5 000,00 €

Montage und Inbetriebnahme

8 000,00 €

Gesamtkosten : 45 000,00 €

Erforderliche Ressourcen (Technik, Organisation, Mitarbeiter)

Die Energiegruppe im Verein „Die Mühle“ besteht derzeit aus 6 aktiven ehrenamtlichen Mitgliedern, die motiviert sind das Projekt umzusetzen. Die Mitglieder üben diese Aktivitäten neben ihren beruflichen Verpflichtungen aus. In der gebildeten Arbeitsgruppe ist ein gut aufgestelltes Kompetenzteam vorhanden mit ingenieurtechnischem, belastbarem Wissen. Weitere Hilfe im Bereich der Beantragung, Genehmigungsverfahren, Durchführung von Reparaturen und Montagen können günstig generiert und eingebunden werden. Die dabei anfallenden Kosten können durch anteilige freiwillige Leistungen von ehrenamtlichen Vereinsmitgliedern reduziert werden. Dies wurde bei der Kostenkalkulation beachtet und die jeweiligen Anteile als Eigenleistung ausgewiesen.

Dennoch wird über den gesamten Projektzeitraum geworben, weitere Interessierte an die Energieerzeugung durch Wasserkraft heranzuführen und aktiv einzubinden. Hier insbesondere auch Mitglieder die das Projektcontrolling verantworten. Zu den verschiedenen Etappen des Projektes wird es notwendig sein externe Fachkräfte (Sachverständige, technische Hilfeleistungen, Fachfirmen) mit zu aktivieren. Dafür notwendige Kosten müssen berücksichtigt werden.

Notwendige technische Hilfsmittel zur Montage des Wasserrades müssen über geeignete Kooperationspartner (Fachfirmen, Hilfsorganisationen (THW, Freiwillige Feuerwehr) Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde, Stadt Eberswalde) angefragt und kostensparsam bzw. kostenneutral zum Einsatz kommen.

Terminplanung

Der Projektbeginn startet mit der Anzeigepflicht gegenüber den Behörden. Als Orientierung dient ein Meilensteinplan der in erster Näherung wie folgt aussieht:

M1.1	Rechtliche Anforderungen / Vorstandssitzung / Anzeigepflicht
M1.2	Begehung der Arche Nord
M1.3	Aufnahme Istzustand/ Vermessung/ Bautenstand der Wände
	Dokumentieren des Istzustand
M1.4	Anpassung der Entwurfskonstruktion an den Istzustand
	Materiallisten entwickeln, Detailierungsgrad der Konstruktion erhöhen
M1.5	Abstimmung mit der Fertigung unter Berücksichtigung der Montagereihenfolge
M1.6	bauliche Voraussetzungen in der Arche schaffen
M1.7	Fertigung des Wasserrades, der Achse, der Einlaufrinne
M2.0	Einbau des Wasserrad, Generator, Getriebe, Videotechnik
M2.1	elektr. Einbindung in Bestandsanlage
M2.2	Probetrieb
M2.3	Überleitung in einen Dauerbetrieb

Wirtschaftlichkeitsbetrachtung unter Berücksichtigung der Gemeinnützigkeit

Die eingeworbenen Finanzierungen werden nach der Satzung des Vereins „Die Mühle e.V.“ unmittelbar und zweckgebunden eingesetzt. Die Mitglieder der Projektgruppe erhalten keine Zuwendungen aus Mitteln des Vereins.

1. Der Verein verfolgt ausschließlich und unmittelbar gemeinnützige Zwecke im Sinne des Abschnitts „Steuerbegünstigte Zwecke“ der Abgabenordnung. Der Verein ist selbstlos tätig. Er verfolgt nicht in erster Linie eigenwirtschaftliche Zwecke.
2. Mittel des Vereins dürfen nur für die satzungsgemäßen Zwecke verwendet werden. Die Mitglieder erhalten keine Zuwendungen aus Mitteln des Vereins.
3. Es darf keine Person durch Ausgaben, die dem Zweck des Vereins fremd sind, oder durch unverhältnismäßig hohe Vergütungen begünstigt werden.
4. Die Mitglieder der Organe des Vereins nehmen ihre Aufgabe ehrenamtlich wahr. Aufwendungen, insbesondere Bürobedarf und Reisekosten, können erstattet werden.
5. Überschüsse aus dem Jahresabschluss werden auf das folgende Geschäftsjahr übertragen.

Projekt-Risiken

Defektes Wasserrad: durch mechanische oder elektrische Störung verursachte Schäden am Wasserrad können repariert werden. Kommt es zu diesem Fall entstehen unerwartete Kosten für den Verein, wenn die Inbetriebnahme wieder angestrebt wird.

Wassermangel: wenn in Zukunft z.B. durch Trockenheit nicht genügend Wasser für den Betrieb des Wasserrades zur Verfügung steht.

Mangel an Mitteln: durch den Mangel an finanziellen Mitteln kann das Projekt misslingen.

Durch Höhere Gewalt: kann an der Anlage oder am Gebäude etwas beschädigt werden, sodass ein Betrieb nicht mehr möglich ist.

Projektausblick

Die durch das Wasserrad entstehende elektrische Energie kann dafür genutzt werden, den elektrischen Energieverbrauch des Gebäudes vollständig zu bedienen und zusätzlich den Mehrertrag ins öffentliche Netz einzuspeisen. Es wäre auch möglich die entstehende Energie für eine Heizung der Mühle zu verwenden. Dann kann die Kulturstätte ganzjährig benutzt werden. Die dritte Möglichkeit ist die Verwendung der elektrischen Energie für den Betrieb einer Ladesäule für eBikes an der „Erlebnisachse Schwärze“.

Randbedingungen:

In Anlehnung an des Buch „Wasserräder mit Freihang“ von Dirk Michael Neurnbergk // Schäfer Verlag 2014

Wasserraddurchmesser: $D :=$	2,5 m
Gesamtfallhöhe: $H_{ges} :=$	3 m
Umfangsgeschwindigkeit: $U_{vopt} :=$	1,9 m/s (\rightarrow für gute Wirkungsgrade 1,5...2,2)
Volumenstrom:	$Q_{min} := 0,12 \text{ m}^3/\text{s} / Q_{max} := 0,25 \text{ m}^3/\text{s} / Q_{mittel} := 0,18 \text{ m}^3/\text{s}$
Dichte Wasser bei 20°C	$\rho_{Wasser} := 1 \text{ kg/dm}^3$
Wirkungsgrad oberchl. WR	$\eta_{WR} := 80\text{-}90\% \rightarrow$ angenommen 80%

Maximale Leistung mechanisch

$$P_{mech} = \rho_{Wasser} * g * Q_{max} * D * \eta_{WR}$$

$$P_{mech} = 1 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 0,25 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * 2,5 \text{m} * 0,8$$

$$P_{mech \max} = 4,9 \text{ kW}$$

$$P_{mech \text{mittel}} = 3,5 \text{ kW}$$

Leistung elektrisch

Wirkungsgrad Generator	$\eta_{Gen} :=$	80%	Bei einem Einsatz von drehzahlunabhängigen Direktantrieben ist eine Steigerung des Wirkungsgrades bis auf 95% möglich
------------------------	-----------------	-----	---

$$P_{el} = P_{mech} * \eta_{Gen}$$

$$P_{el \max} = 3,9 \text{ kW}$$

$$P_{el \text{mittel}} = 2,8 \text{ kW}$$

Drehzahl des Wasserrades

$$n = \frac{U_{vopt}}{R * 2 * \pi} \quad \leftarrow \quad \omega = 2 * \pi * n \quad \leftarrow \quad \omega = \frac{v}{R}$$

$$n = \frac{1,9 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{1,25 \text{m} * 2 * \pi} = 0,24 \text{ s}^{-1} = 15,5 \frac{1}{\text{min}}$$

Drehmoment des Wasserrades

$$M_{max} = \frac{60 * P_{mech \max}}{2 * \pi * n}$$

$$M_{max} = \frac{60 * 4900 \text{ W}}{2 * \pi * 15,5} = 3020 \text{ Nm}$$

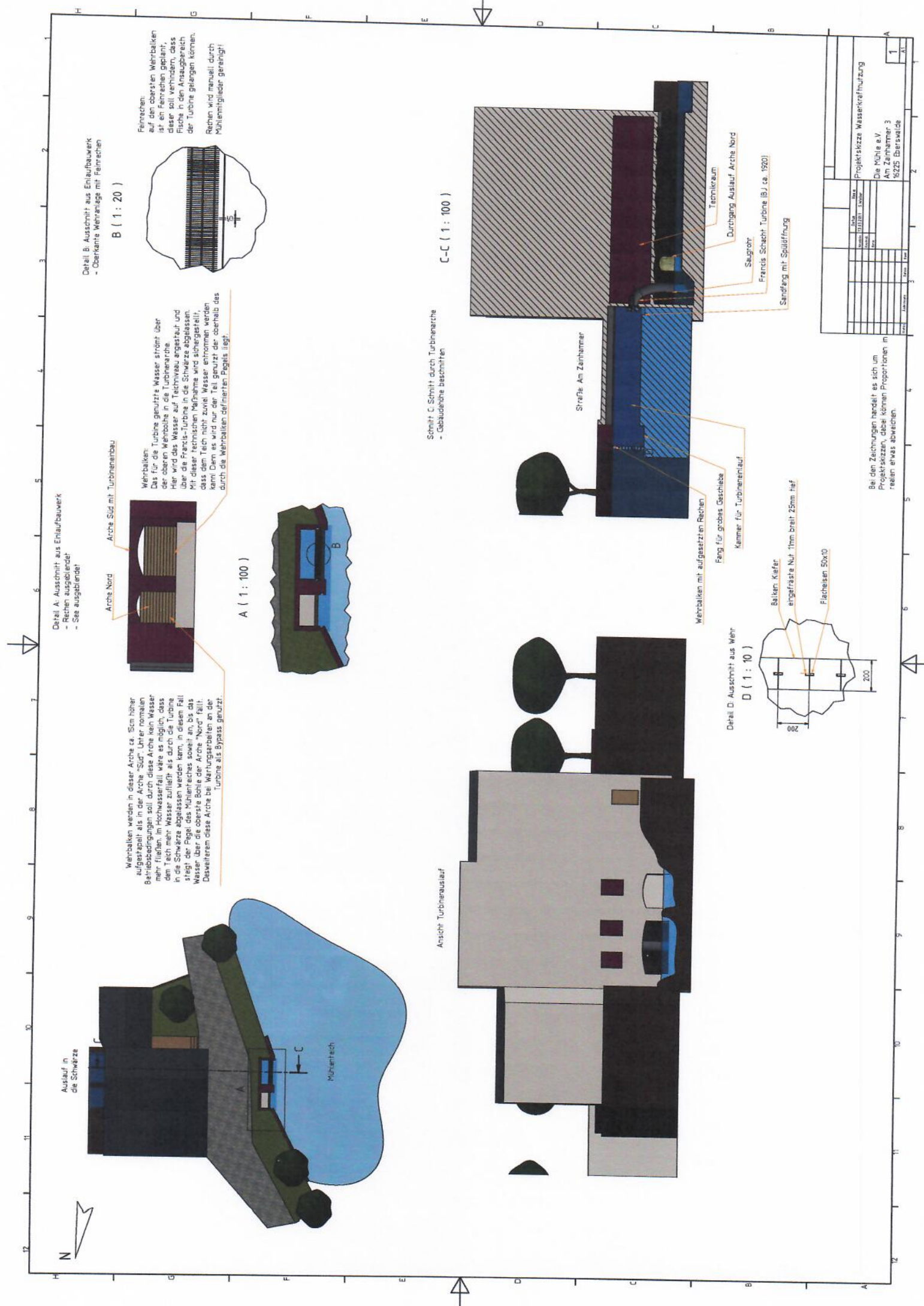
Erzeugte Energie pro Jahr

Annahme: 300 Tage Betrieb mit 24h, die restlichen Tage werden Wartungsarbeiten durchgeführt oder die Anlage steht aufgrund starken Frostes

$$E = 300 \text{ Tage} * 24 \frac{h}{\text{Tag}} * 2,8 \text{ kW} = 20160 \text{ kWh}$$

Einspeisevergütung nach EEG für 2021: → 12,15 ct

$$V = 20160 * 0,1215 \text{ €} = \underline{\underline{2449,44 \text{ €}}}$$



Auslauf in die Schwärze

Mühlenteich

Wehrbalken werden in dieser Arche ca. 5cm höher aufgesetzt als in der Arche "Süd". Unter normalen Betriebsbedingungen soll durch diese Arche kein Wasser mehr fließen. Im Hochwasserfall wäre es möglich, dass dem Teich mehr Wasser zufließt als durch die Turbine in die Schwärze abgelassen werden kann, in diesem Fall steigt der Pegel des Mühlenteiches soweit an, bis das Wasser über die oberste Bohle der Arche "Nord" fällt. Desweiteren diese Arche bei Wehrungsarbeiten an der Turbine als Bypass genutzt.

Wehrbalken:
Das für die Turbine genutzte Wasser strömt über der oberen Wehrbohle in die Turbinenarche. Hier wird das Wasser auf Techniveau ergoßtau und über die Francis-Turbine in die Schwärze abgelassen. Mit dieser technischen Maßnahme wird sichergestellt, dass dem Teich nicht zuviel Wasser einströmen werden kann. Denn es wird nur der Teil genutzt der oberhalb des durch die Wehrbalken definierten Pegels liegt.

Detail B: Ausschnitt aus Einlaufbauwerk
- Oberkante Wehrbohle mit Fehrrechen

B (1 : 20)

Fehrrechen:
auf den obersten Wehrbalken ist ein Fehrrechen geplant, dieser soll verhindern, dass Fische in den Anlaufbereich der Turbine gelangen können.
Rechen wird manuell durch Mühlmitglieder gereinigt!

Ansicht Turbinenauslauf

Schnitt C: Schnitt durch Turbinenarche
- Gebäudebohle beschnitten

C-C (1 : 100)

Detail D: Ausschnitt aus Wehr
D (1 : 10)

Bei den Zeichnungen handelt es sich um Projektskizzen, dabei können Proportionen in realen etwas abweichen.

Projektskizze Wasserkraftnutzung
Die Mühle e.V.
Am Zahnhammer 3
5225 Eberswalde

Blatt	Titel	Maßstab	Datum	Gezeichnet	Geprüft	Freigegeben
1						

