



Hochschule München

Fakultät für Wirtschaftsingenieurwesen

Prof. Dr.-Ing. Robert Meier-Staude

M.Sc. Dominik Hochhäusler

Machbarkeitsstudie
Surfbare Flusswelle
Regensburg

Datum: 2.2.2023/10.2.2023

Version: 2.2

Kurze Danksagung

*Eine stehende Welle ist ein magischer Ort,
an dem Menschen zueinander finden,
die sonst nie ein Gespräch anfangen würden.
Eine Stadt braucht genau diese Orte!
Wir wollen allen Menschen die Möglichkeit geben,
die von der Welle ausgehende Magie zu spüren.*

Aloha¹.

¹ Aloha bedeutet nach einer volksetymologischen Erklärung der letzten Königin von Hawai'i, Lili'uokalani: „Im Angesicht des Atems Gottes stehen“, sinngemäß vom Geist Gottes erfüllt sein oder seinen Lebensatem eingehaucht bekommen zu haben. Zitat der Königin Lili'uokalani: „*Kein Hawaiianer hatte Erlaubnis dieses heilige Wort auszusprechen, ... es sei denn, er war mit seinem Gegenüber in Harmonie ...*“ Das Wort *Gott* ist allerdings in *aloha* nicht enthalten, weshalb es auch nicht mit Grußformeln wie *grüß Gott!* vergleichbar ist. (Wikipedia/Februar 2015)

Inhaltsverzeichnis

1	Motivation und Zielsetzung	8
2	Funktionsweise einer Flusswelle.....	10
3	Randbedingungen – Kriterien – Nutzwertanalyse	13
3.1	Anforderungsliste	13
3.2	Grundfunktionen/-anforderungen zur Wellenerzeugung.....	14
3.3	Nutzwertanalyse	15
3.3.1	Vorgehensweise bei der Nutzwertanalyse.....	15
3.3.2	Kriterienkatalog.....	15
4	Beschreibung der untersuchten Standorte in Regensburg	18
4.1	Standort 1: Pfaffensteiner Wehr am Borstenfischpass/ Sportbootschleuse (Südseite)	19
4.2	Standort 2: Wehrbrücke Pfaffensteiner Wehr - Nordarm	22
4.3	Standort 3: Nordarm vor dem renaturierten Abschnitt	23
4.4	Standort 4: Sorat Hotel/Brandner Kanal	26
4.5	Standort 5: Unter der steinernen Brücke im Nordarm.....	28
4.6	Standort 6: Mühlenarm in der Donau nach der Steinbrücke.....	29
4.7	Standort 7: Pielmühler Wehr/Zeitlarn/Lappersdorf.....	30
5	Nutzwertanalyse und Bewertung der vorgestellten Standorte	35
5.1	Standort 1: Pfaffensteiner Wehr an der Fischtreppe (Südseite)	35
5.2	Standort 2: Nordarm am Kraftwerk	37
5.2.1	Standort 2a: Integration einer Welle direkt unterhalb der Wehrklappe	37
5.2.2	Standort 2b: Ausführung als schwimmende Plattform einige Meter stromabwärts des Wehres	38
5.3	Standort 3: Nordarm (stromaufwärts des renaturierten Bereichs)	40
5.4	Standort 4: Sorat Hotel/Brandner Kanal	41
5.5	Standort 5: Unter der steinernen Brücke im Nordarm.....	41
5.6	Standort 6: Mühlenarm	42
5.7	Standort 7: Pielmühler Wehr/Zeitlarn/Lappersdorf.....	42
5.8	Zusammenfassung und quantitatives Ergebnis der Nutzwertanalyse	44
6	Detaillierte Betrachtung ausgewählter Standorte.....	48
6.1	Standort 2b: Nordarm – Schwimmende Plattform	48
6.2	Standort 7: Pielmühler Wehr.....	52
6.3	Mögliche Standorte mit einer Pumpenlösung	56

6.4	Immissionsgutachten	57
6.5	Betreiberkonzept.....	57
7	Zusammenfassung.....	59
8	Literaturverzeichnis	61

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Kids Jam an der Welle in Thalkirchen (Photo: IGSM, 2019)	8
Abbildung 2: Saisonabschluss Thalkirchen (Foto: Phillipp Altenhöfer)	9
Abbildung 3: Welle in Čunovo in der Nähe von Bratislava [Boardlife.sk, 2011]	11
Abbildung 4: Floßlände in München nach Einbau der Technologie durch das Riverwave Project. Die Welle wird durch die – im Bild sichtbaren – unter Wasser montierten weißen Kunststofflamellen erzeugt.	11
Abbildung 5: Definition Höhen (Strömung von links nach rechts)	14
Abbildung 6: CFD Simulation einer Welle: Dargestellt sind Wasserschicht und Wellenhöhe für einen Einbau mit einer Höhe von 60cm (Fall WFloater060R65_001).....	15
Abbildung 7: Untersuche Standorte	18
Abbildung 8: Teilung der Donau in drei Arme (Foto Uniper GmbH).....	19
Abbildung 9: Systemskizze der Wehranlage Pfaffenstein (Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt Donau MDK, 2010).....	20
Abbildung 10: Triebwerk am Pfaffensteiner Wehr mit Blick von Norden auf den Oberen Wöhrd (Foto: Dominik Hochhäusler, 31.07.2022)	22
Abbildung 11: Nordarm auf Höhe des Wehres mit Blick von Norden stromabwärts auf den Oberen Wöhrd (Foto: Dominik Hochhäusler, 31.07.2022)	23
Abbildung 12: Blick stromabwärts auf den renaturierten Bereich des Nordarmes (Foto: Dominik Hochhäusler, 13.10.2022)	25
Abbildung 13: Brandner Kanal am Sorat Hotel bei der Ortsbesichtigung am 31.07.2022	26
Abbildung 14: Brandner Werkstätte am Oberen Wöhrd um 1910 (Wikipedia).....	27
Abbildung 15: Blick von oben auf die steinerne Brücke über den Nordarm (Foto: spitalseniorenheim.de)	28
Abbildung 16: Mühlenarm, Blick stromabwärts auf die Eiserne Brücke (WSA und Stadt Regensburg, 2017).....	29
Abbildung 17: Der Kartenausschnitt zeigt das Pielmühler Wehr angrenzend an Regensburg, Zeitlarn und Lappersdorf (Stadt Regensburg, 2022).....	30

Abbildung 18: Luftbild des Pielmühler Wehrs von Zeitlarn/Regensburg aus (Landeskraftwerke Bayern GmbH, 2022).....	31
Abbildung 19: Schnitt durch das Wehr (Bereitgestellt durch das Wasserwirtschaftsamt Regensburg aus der Masterarbeit Lagleder, 2013).....	32
Abbildung 20: Konzept zur Nutzung des Restwassers neben dem geplanten Kraftwerk (Soyer, 2012).....	33
Abbildung 21: Visualisierung eines Konzepts im Wehrtor im Nordarm (Wirschum, 2017).....	37
Abbildung 22: Visualisierung einer schwimmenden Plattform mit integrierter Welle im Nordarm (Foto: Google Earth, Visualisierung: Christoph Eschenwecker)	39
Abbildung 23: Der schwimmende UNITSurfPool in Langenfeld (Foto: Unit GmbH)	48
Abbildung 24: Visualisierung einer möglichen Umsetzung am Pielmühler Wehr (Blick in Richtung Zeitlarn/Regensburg)	52
Abbildung 25: Die Welle in Annecy wurde mit minimalem Eingriff in den Fluss gebaut (Foto: ledauphine.com).....	53
Abbildung 26: Flora-Fauna-Habitat-Gebiete rund um Regensburg (ifu.bayern.de)	55

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Abflussverteilung gemäß Bescheid der Stadt Regensburg vom 23.02.1989 (Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt Donau MDK, 1991).....	21
Tabelle 2: Bezugswasserstände (Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt Donau MDK, 2002). RNW (Regulierungsniederwasserstand): Wasserstand, dessen Abfluss an 94 % der Tage der Jahresreihe 1961/90 erreicht oder überschritten wurde (343 Überschreitungstagen im Jahr). MW (Mittelwasserstand) entspricht MQ (mittlerer Abfluss). HSW (Höchster Schifffahrtswasserstand): Festgelegter Wert gemäß DonauSchPv § 10.01 Nr. 1	24
Tabelle 3: Qualitative Bewertung Standort 1: Pfaffensteiner Wehr	36
Tabelle 4: Qualitative Bewertung Standort 2a: Nordarm im Wehr	38
Tabelle 5: Qualitative Bewertung Standort 3: Nordarm (stromaufwärts des renaturierten Bereiches)	40
Tabelle 6: Qualitative Bewertung Standort 4: Sorat Hotel/Brandner Kanal	41
Tabelle 7: Qualitative Bewertung Standort 5: Unter der steinernen Brücke im Nordarm	42
Tabelle 8: Qualitative Bewertung Standort 7: Piehlmühler Wehr/Zeitlarn/Lappersdorf	43
Tabelle 9: Quantitatives Ergebnis der Nutzwertanalyse.....	45
Tabelle 10: Unterschreitungstage des Gesamtabflusses sowie des Abflusses im Nordarm am Pfaffensteiner Wehr.....	49
Tabelle 11: Kostenschätzung für Investition (Capex) und Betrieb (Opex) am Standort 2b	50
Tabelle 12: Kostenschätzung für Investition (Capex) und Betrieb (Opex) am Standort 7	54
Tabelle 13: Kostenschätzung für Investition (Capex) und Betrieb (Opex) für eine Lösung mit Pumpenunterstützung. Mögliche Standorte sind beispielsweise der Brandner Kanal oder der neue Yachthafen/Weichs	56

1 Motivation und Zielsetzung



Abbildung 1: Kids Jam an der Welle in Thalkirchen (Photo: IGSM, 2019)

Flusswellenreiten bringt alle Menschen auf einer positiven Ebene in Kontakt. Das betrifft die Sportler selbst, aber auch die Menschen außenherum. Es gibt – wahrscheinlich – keinen Ort, an dem unterschiedlichere Menschen ein Gespräch miteinander anfangen würden. Und es gibt wahrscheinlich keinen Sport den Anfänger und Profis, Frauen und Männer, Kinder und Senioren gleichzeitig und gemeinsam an einem Ort ausüben.

Nach einem Antrag des Jugendbeirat, hat das Amt für Sport und Freizeit Regensburg die Durchführung einer Machbarkeitsstudie bei der Hochschule München beauftragt. Das Ziel dieser Machbarkeitsstudie ist es, zu prüfen, ob und wie eine surfbare Flusswelle im Raum Regensburg realisiert werden kann. Dabei galt es, alle relevanten Aspekte zu untersuchen (Umweltbelange, Objektvorplanung, Interessensgruppen, ...).

Im Folgenden soll in das Thema Surfen auf stehenden Wellen eingeführt werden. Im Anschluss erfolgt eine Begutachtung möglicher Standorte in Regensburg hinsichtlich der generellen Machbarkeit, sowie eine anschließende Bewertung anhand einer Nutzwertanalyse. Drei der Standorte werden genauer untersucht und jeweils ein Konzept vorgestellt.



Abbildung 2: Saisonabschluss in Thalkirchen (Foto: Phillipp Altenhöfer)

2 Funktionsweise einer Flusswelle

Das Flusswellenreiten wurde – der Legende nach – 1972 durch die Gebrüder Pauli an der Floßlände in München erfunden. Weltweit berühmt ist heute der Eisbach in München.

Mittlerweile existieren zahlreiche Projekte, die ozeangleiche Wellen in sogenannten "Wavepools" generieren. Aber auch künstliche stehende Wellen wurden bereits realisiert. Diese stehenden Wellen benötigen meist künstlich angelegte Wasserbecken und eine von Pumpen generierte Strömung mit einem hohen Energieverbrauch.

Es besteht zudem die Möglichkeit eine stehende Welle ganz ohne Pumpen und hohen Energieverbrauch zu erzeugen. Vorbild hierfür sind beispielsweise der Eisbach oder die Floßlände in München.

Die wesentlichen Voraussetzungen für die Erzeugung einer stehenden Surfwellen sind (im Detail siehe Kapitel 3 zu Randbedingungen und Nutzwertanalyse):

- Ausreichende Wassermenge
- Ausreichender Höhenunterschied zwischen Oberwasser (= Wasserspiegel stromaufwärts der Welle) und Unterwasser (= Wasserspiegel stromabwärts der Welle)

Es gibt im Wesentlichen zwei Bauformen:

- Der Kicker (Abbildung 4):
 - Die stromabwärts schießende Strömung wird durch einen relativ kleinen Einbau umgelenkt. Die schnelle Wasserschicht liegt auf einem langsam rotierenden Wasserwirbel, der die Welle formt. Hinter der Welle bildet sich eine Weißwasserzone, danach strömt das Wasser langsam weiter.
 - Der Wasserbauer spricht bei diesem Strömungsphänomen vom Wechselsprung.
- Der Floater (Abbildung 3):
 - Die stromabwärts schießende Strömung wird über eine Unterkonstruktion gelenkt, die den Wellenberg formt.



Abbildung 3: Welle in Čunovo in der Nähe von Bratislava [Boardlife.sk, 2011]



Abbildung 4: Floßlande in München nach Einbau der Technologie durch das Riverwave Project. Die Welle wird durch die – im Bild sichtbaren – unter Wasser montierten weißen Kunststoffplatten erzeugt.

Mittlerweile bietet eine Reihe von Firmen die Entwicklung von surfbaren Flusswellen an. An vielen Orten werden die Wellen auch von Universitäten und lokalen ehrenamtlichen Ingenieuren entwickelt. Es gibt in vielen größeren Orten Initiativen, die sich für eine solche

Surfbare Flusswelle Regensburg
 Machbarkeitsstudie
 Dominik Hochhäusler/Robert Meier-Staude/2022/2023

Welle einsetzen. Es besteht also eine große Nachfrage. In den letzten zehn Jahren wurden einige Wellen genehmigt und gebaut:

- Floßlande München (genehmigt und gebaut)
- Pforzheimer Blackforestwave (genehmigt und gebaut)
- Nürnberger Dauerwelle (genehmigt und gebaut)
- Hannover Leinewelle (genehmigt und gebaut)
- Ebenseewelle, Österreich (genehmigt und gebaut)
- Almwelle, Österreich (genehmigt und gebaut)
- Welle Annecy, Frankreich (genehmigt und gebaut)
- Viele weitere Wellen in der Slowakei, USA und anderen Ländern

Eine Gemeinsamkeit dieser Projekte ist, dass eine gute Welle technisch und planerisch viel Engagement und Know-how erfordert, da jeder Standort ganz individuelle Bedingungen, Herausforderungen und Möglichkeiten bietet. Ein besonderes Augenmerk wird dabei immer auf den Naturschutz gelegt.

3 Randbedingungen – Kriterien – Nutzwertanalyse

3.1 Anforderungsliste

Die Anforderungen gliedern sich nach Wichtigkeit in der folgenden Reihenfolge:

1. Sicherheit:
 - Sicherheit aller Gewässernutzer (Mensch und Tier) muss gewährleistet sein.
 - Sicherheit bei allen Wassermengen und möglichen Extremereignissen muss gewährleistet sein.
 - Insbesondere:
 - Welle sollte abgeschaltet werden können.
 - Sicheres Passieren für andere Gewässernutzer: Schwimmer, Schlauchbootfahrer, ...
 - Sicherer Ausstieg
 - Sicherer Einstieg
 - Sicheres Surfen – für alle, die surfen wollen ☺
 - Surfboard-schonende Konstruktion
2. Umwelt:
 - Die Welle stellt einen Eingriff in die Umwelt dar
 - Der Eingriff darf die Konsistenz des Ökosystems nicht beeinträchtigen
 - Der Eingriff soll minimal sein
 - Der Eingriff soll auf einfache Weise reversibel sein
 - Es sollen ausschließlich Werkstoffe und Konstruktionsprinzipien verwendet werden, die den Prinzipien der Circular Economy gerecht werden.
 - Insbesondere:
 - Passierbarkeit für Fische ist gewährleistet
3. Kosten & Finanzierung:
 - Minimale Kosten
4. Wellenerzeugung
 - Vertikaler Impuls $y_{Impuls} > 2500Pa$
 - Surfbarer Bereich in Strömungsrichtung $l > 0,5m$
 - Breite der Welle an Durchfluss anpassbar
5. Mechanische Integrität = Einbau ist der mechanischen Beanspruchung dauerhaft gewachsen
6. Montage:
 - Montage/Demontage mit einfachen Mitteln, möglichst kleiner Kran
 - Nicht zerstörende Demontage (Kraftschluss und/oder Formschluss): Bolzen und/oder Schrauben
7. Wartung:
 - Alle Komponenten austauschbar
 - Möglichst kleine Teile/Einheiten
 - Wartung im montierten Zustand

3.2 Grundfunktionen/-anforderungen zur Wellenerzeugung

Die Anforderungen an die Wellenerzeugung leiten sich wie folgt ab:

- Vertikaler Impuls $yImpuls$ der Wasserströmung im surfbaren Bereich: $yImpuls > 2500 Pa$ (erforderlich, damit der Surfer ausreichend dynamischen Auftrieb hat)
- Wassergeschwindigkeit im Wellental $v_{max} \geq 5m/s$
- Sicherheit: Wasserhöhe im Wellental $h > 20cm = 0,2m$
- Daraus ergibt sich
 - ein spezifischer Durchfluss $Q/b > 5m/s * 0,2m = 1m^2/s$
 - ein Mindestdurchfluss bei einer Wellenbreite $b = 5m$: $Q = 1,0m^2/s * 5m = 5m^3/s$
- Gesamtwasserhöhe über Wellental: $\Delta H + h_{unten} = h + \frac{1}{2g}v^2 = 0,2m + \frac{20,25m^2/s^2}{2 \cdot 9,81m^2/s} = 0,2m + 1,03m = 1,25m$

Daraus ergibt sich eine Höhe der Rampe (Zuströmung): $H_{Rampe} = \Delta H + h_{unten} - h_{oben} > 55cm$ (siehe Abbildung unten: Die Höhe der Rampe sollte 60cm betragen – hierzu sollten noch CFD Analysen gemacht werden; h_{unten} : Wasserschichtdicke im Wellental; h_{oben} : Wasserschichtdicke stromaufwärts der Welle)

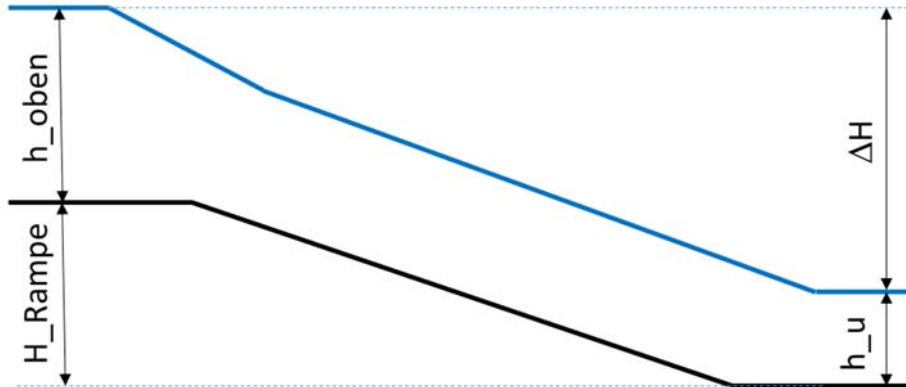


Abbildung 5: Definition Höhen (Strömung von links nach rechts)

Abbildung 6 zeigt ein Simulationsergebnis (Fall WFloater60R65_001/002) für einen 60cm hohen Wellenerzeugungskörper bei einer Zuströmung mit einer maximalen Geschwindigkeit am tiefsten Punkt der Welle von $v_{max} = 5m/s$.

Es ergibt sich eine Wellenhöhe von 65cm bei einem breiten gut surfbaren Bereich mit einem vertikalen Wasserdruck von $yImpuls > 2500Pa$.

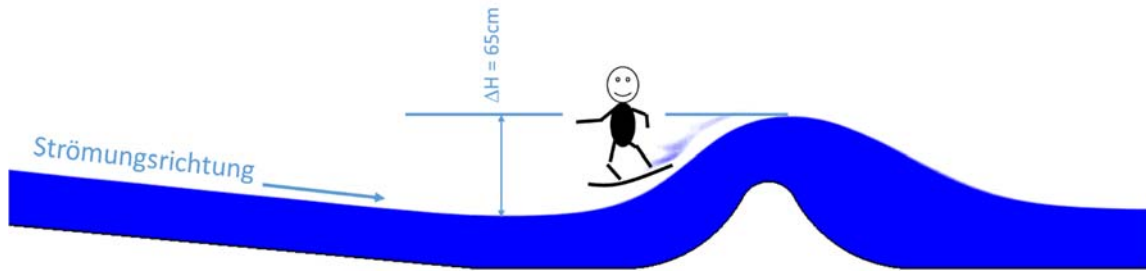


Abbildung 6: CFD Simulation einer Welle: Dargestellt sind Wasserschicht und Wellenhöhe für einen Einbau mit einer Höhe von 60cm (Fall WFloater060R65_001)

3.3 Nutzwertanalyse

3.3.1 Vorgehensweise bei der Nutzwertanalyse

Die Nutzwertanalyse ist eine Methodik, die die möglichst objektive und quantitative Bewertung unterschiedlicher Lösungsansätze oder Alternativen erlaubt. Zunächst werden alle harten und weichen Kriterien gesammelt. Harte Kriterien müssen vollständig erfüllt sein. Weiche Kriterien müssen möglichst gut erfüllt sein.

Alle Kriterien werden in einem Katalog zusammengestellt und gewichtet. Für alle möglichen Alternativen, die die harten Kriterien erfüllen, wird für alle Kriterien der Erfüllungsgrad geschätzt.

In diesem Fall werden zusätzlich „Grundsätzliche Rahmenbedingungen“ vorangestellt. Diese stellen keine harten Kriterien bezüglich Wellenerzeugung dar, sind aber essenziell wichtig, um an dem jeweilig bewerteten Standort eine Welle betreiben zu können.

Die Alternative mit der höchsten Gesamtpunktzahl stellt die beste Alternative dar.

3.3.2 Kriterienkatalog

3.3.2.1 Grundsätzliche Rahmenbedingungen

Die grundsätzlichen Rahmenbedingungen sind eine Liste von Kriterien, die für eine problemlose Genehmigung und einen problemlosen Betrieb der Welle essenziell sind:

- Keine Gefährdung anderer Gewässernutzer
- Keine Belästigung von Anwohnern
- Sicherheit beim Surfen: Einstieg, Ausstieg, Zugang
- Keine Gefährdung der Surfer, z.B. durch Kraftwerkseinlässe, unterirdische Kanäle, starke Strömung u.ä.
- Grundstückseigentümer bzw. zuständige Behörde
- Umweltbelange
- Konkurrenz zu anderen Interessengruppen: Fischer, Naturbäder, Kraftwerke, ...

3.3.2.2 Harte Kriterien

Die wesentlichen Voraussetzungen für die Erzeugung einer surfbaren Welle sind:

- **Wellenbreite** $b > 8$ m (in Ausnahmefällen > 5 m)
- **Abfluss/Durchfluss:** $Q > 10$ m³/s (bei 5 m Breite ca. 6,25 m³/s). Der Parameter ist der **Spezifische Abfluss:** $Q/b = v_{\text{Wellental}} \times h_{\text{Wassertiefe Wellental}} = 1,25$ m²/s (> 1 m²/s) (ca. 10 m³/s auf 8 m Breite = 1,25 m²/s: Abflussmenge angegeben pro Meter Wellenbreite [m³/s/m = m²/s])
- **Wasserdruckhöhe** $\Delta h > 1$ m (Höhendifferenz zwischen Oberwasser und Unterwasser = nutzbares Gefälle)
- **(Steigung** idealerweise 5 – 10 % (untergeordnete Bedeutung))

3.3.2.3 Weiche Kriterien

Weiche Kriterien sind möglichst gut zu erfüllen.

Die Anforderungen gliedern sich nach Wichtigkeit in der folgenden Reihenfolge (in enger Anlehnung an die Anforderungsliste oben):

1. Sicherheit (im Wesentlichen abgedeckt durch die grundsätzlichen Rahmenbedingungen):
 - Sicherheit aller Gewässernutzer (Mensch und Tier) muss gewährleistet sein. Die Funktions- und Leistungsfähigkeit des Gewässers ist zu erhalten und zu verbessern (WHG §6, Abs 1).
 - Sicherheit bei allen Wassermengen und möglichen Extremereignissen muss gewährleistet sein.
 - Sicheres Surfen:
 - Sicheres passieren für andere Gewässernutzer: Schwimmer, Schlauchbootfahrer, ...
 - Sicherer Ausstieg
 - Sicherer Einstieg
 - Sicheres Surfen (keine Gefährdung z.B. durch Kraftwerkseinlässe, unterirdische Kanäle u.ä.)
 - (Surfboard schonende Konstruktion)
2. Umwelt (im Wesentlichen abgedeckt durch die grundsätzlichen Rahmenbedingungen):
 - Keine Belästigung von Anwohnern.
 - Die Welle stellt einen Eingriff in die Umwelt dar.
 - Der Eingriff darf die Konsistenz des Ökosystems nicht beeinträchtigen.
 - Der Eingriff soll minimal sein.
 - Der Eingriff soll auf einfache Weise reversibel sein.
 - Es sollen ausschließlich Werkstoffe und Konstruktionsprinzipien verwendet werden, die dem Prinzip Cradle-to-Cradle (Kreislaufführung der Wertstoffe) gerecht werden.
 - Insbesondere:
 - Passierbarkeit für Fische ist gewährleistet.

3. Kosten & Finanzierung & Genehmigung:
 - Minimale Kosten.
 - Konkurrenz zu anderen Interessensgruppen: Fischer, Naturbäder, Kraftwerke (direkt, im Parallelkanal oder stromab und –auf).
4. Wellenerzeugung (über harte Kriterien abgedeckt)
 - Vertikaler Impuls $y_{\text{Impuls}} > 2500\text{Pa}$
 - Größe des surfbaren Bereiches „the face“
 - Breite der Welle
 - Surfbarer Bereich in Strömungsrichtung $l > 0,5\text{m}$
 - Breite der Welle an Durchfluss anpassbar
 - Kanal:
 - Kanal vorhanden?
 - Boden
 - Ebener Boden vorhanden?
 - Holzboden vorhanden?
 - Wasser:
 - Wassermenge stark schwankend?
 - Wassermenge einstellbar bzw. schwankend?
 - Unterwasser/Oberwasser einstellbar?
5. Mechanische Integrität
 - Die mechanische Integrität der Konstruktion muss unter allen Bedingungen – zum Beispiel „Jahrhunderthochwasser“ gewährleistet sein.
6. Montage:
 - Montage/Demontage mit einfachen Mitteln, möglichst kleiner Kran
 - Einfache Zugänglichkeit
 - Nicht zerstörende Demontage (Kraftschluss und/oder Formschluss): Bolzen und/oder Schrauben
7. Wartung:
 - Alle Komponenten austauschbar
 - Möglichst kleine Teile/Einheiten
 - Wartung möglichst im montierten Zustand

4 Beschreibung der untersuchten Standorte in Regensburg

Regensburg ist eine wunderschöne Stadt, die durch die Donau und den Regen von viel Wasser umgeben ist. Für fast alle Bereiche (oberhalb und unterhalb von Regensburg in der Donau sowie in allen Armen) ist das WSA Donau MDK zuständig. Einzige Ausnahme ist der Brandner Kanal.

Nach einer ersten Ortsbegehung können 7 Standorte näher betrachtet werden, an denen der Bau einer stehenden Welle möglich scheint (siehe Abbildung 7). Im Folgenden werden die jeweiligen Standorte beschrieben und anschließend in einer Nutzwertanalyse bewertet:

1. Pfaffensteiner Wehr an der Fischtreppe und an der Sportsbootschleuse
2. Wehrbrücke Pfaffensteiner Wehr: Mehrere Möglichkeiten
3. Nordarm der Donau kurz vor Renaturierungsabschnitt
4. Sorat Hotel
5. Unter der Steinernen Brücke
6. Nebenarm der Donau nach der Steinernen Brücke
7. Zeitlarn – Pielmühler Wehr

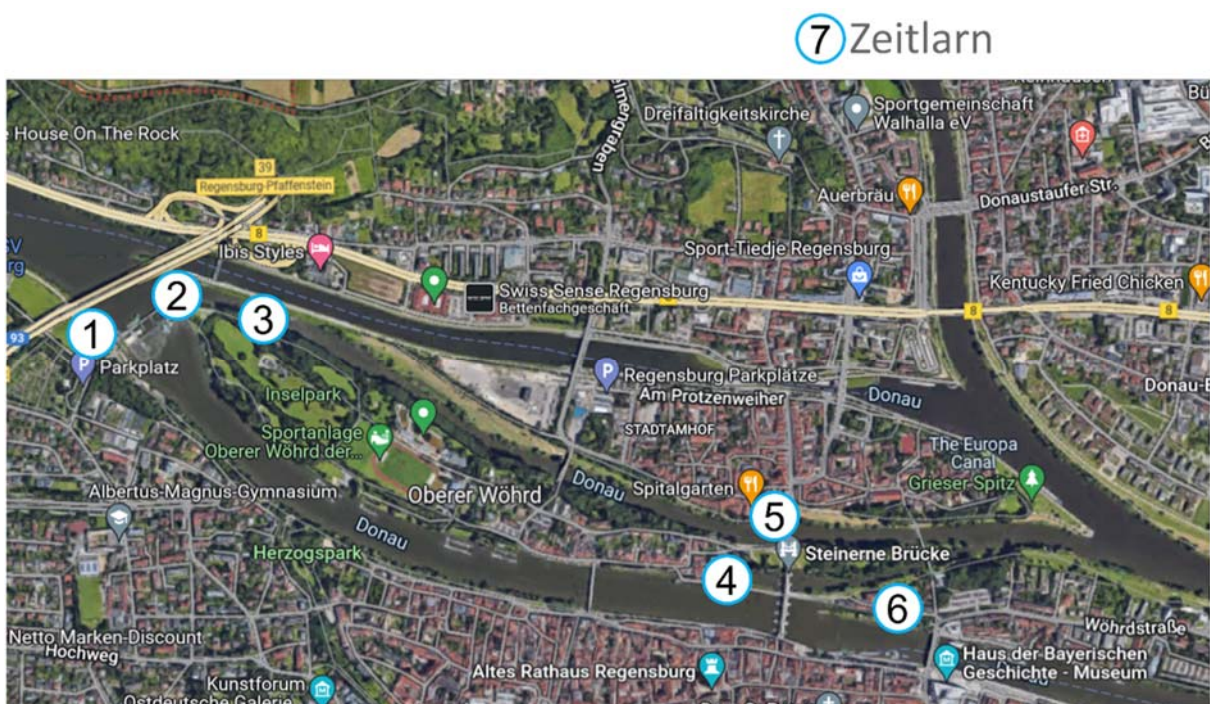


Abbildung 7: Untersuchte Standorte

4.1 Standort 1: Pfaffensteiner Wehr am Borstenfischpass/ Sportbootschleuse (Südseite)



Abbildung 8: Teilung der Donau in drei Arme (Foto Uniper GmbH)

Das Pfaffensteiner Wehr befindet sich flussaufwärts vom Zentrum der Stadt Regensburg. Über die gesamte Stauanlage führt eine Betriebsbrücke, die für Radfahrer und Fußgänger freigegeben ist. Der Höhenunterschied zwischen Ober- und Unterwasser beträgt etwa 5 m.

Im südlichen Teil der Staustufe wurde 1990 die Bootsramsche von E.ON (inzwischen ‚Uniper‘) geplant und errichtet, um den Abstieg von Kleinbooten zu ermöglichen. 2012 wurde dieser zu einem Borstenfischpass durch E.ON erweitert, um durch die eingesetzten Borsten wenigstens teilweise den Aufstieg von Lebewesen zu ermöglichen (siehe Abbildung 8). Die Funktionsfähigkeit sei in Straubing an einer ähnlichen Anlage nachgewiesen worden. Die Auffindbarkeit der Fischaufstiegshilfe ist für Fische problematisch, da die Kraftwerksströmung auf der anderen Uferseite als Lockströmung überwiegt. Es ist kein Aufstieg nach Norm an dieser Staustufe vorhanden. Dieser muss durch das Wasserstraßen-Neubauamt (WNA) Aschaffenburg umgesetzt werden, da diese für den Main, den Main-Donau-Kanal und die Donau für die Herstellung der ökologischen Durchgängigkeit zuständig ist.

Eine Sportbootschleuse neben dem Fischpass ermöglicht kleineren Booten bis 20 m Länge den Durchgang in den Südark der Donau. Sowohl der Fischpass und die Sportschleuse, als auch das Stauziel im Oberwasser der Staustufe obliegen der Verantwortung des

Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt Donau MDK. Das Wehr wird von der Uniper GmbH, dem Betreiber des Kraftwerks, reguliert.

Der Querschnitt der Wehranlage Regensburg ist in Abbildung 9 zu sehen (Die Abbildung zeigt den Schnitt durch die Wehranlage am Nordarm, der Aufbau ist analog zu dem im Südarm). Das Stauziel am Pfaffensteiner Wehr ist nach Planfeststellungsbeschluss auf 332,5 m ü. NHN festgelegt und darf nur $\pm 5-6$ cm abweichen. Uniper muss das Wehr und das Kraftwerk entsprechend betreiben, während die WSV dies kontrolliert. Die Wehrspitzen können abgesenkt werden, sodass in den fünf Wehröffnungen die Stufen überspült werden. Herrscht ein höherer Durchfluss können die Tore angehoben werden und das Wasser strömt unter den Klappen durch. Bei Hochwasser können diese Klappen vollständig aus dem Wasser genommen werden. Je nach Gesamtdurchfluss der Donau ergeben sich normalerweise die Abflüsse in die einzelnen Arme wie in Tabelle 1 beschrieben.

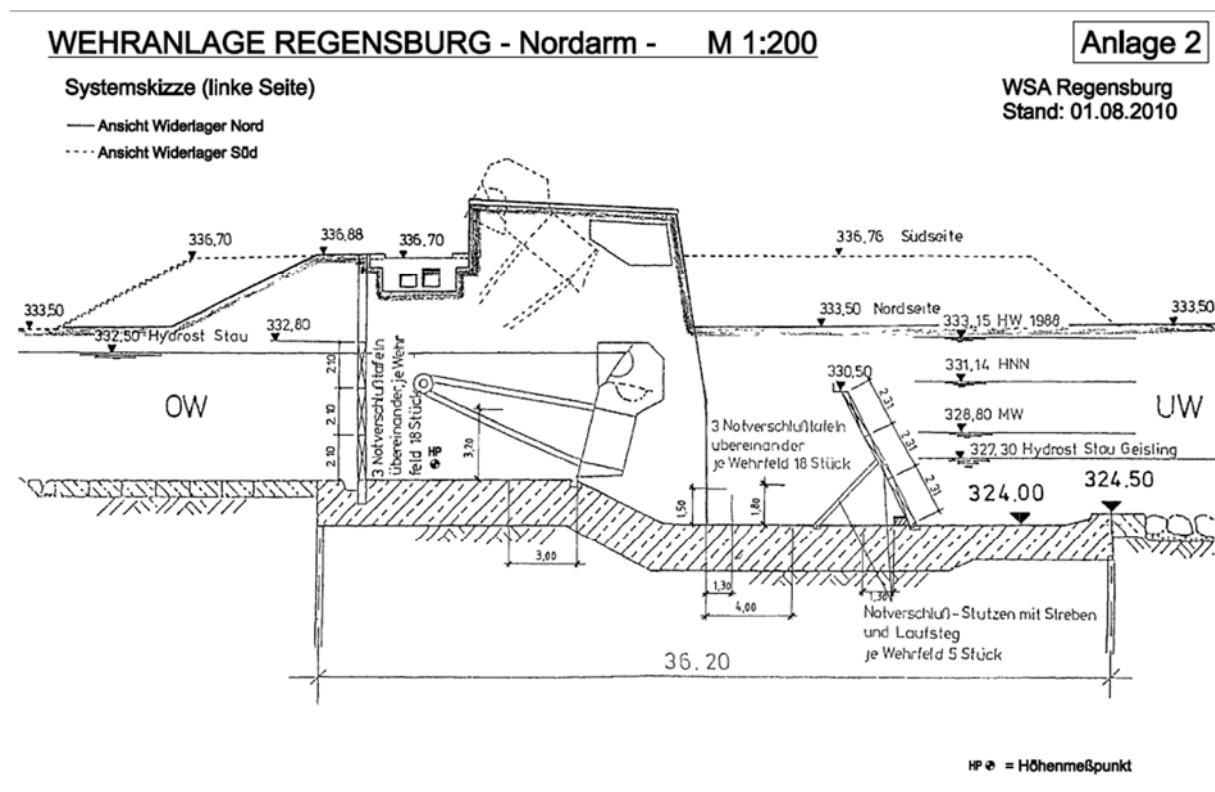


Abbildung 9: Systemskizze der Wehranlage Pfaffenstein (Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt Donau MDK, 2010)

Aktuell wird ein Uferrückbau am Donau-Südarm unterhalb der Staustufe Regensburg-Pfaffenstein diskutiert, da dort am Oberen Wöhrd (siehe Abbildung 8) ein Wasserschutzgebiet liegt. Die Anforderungen in Wasserschutzgebieten werden im Wasserhaushaltsgesetz (WHG) in §51 und §52 geregelt, u.a. um die Gefahren und Risiken für das Trinkwasser zu minimieren. Im Fassungsbereich und in der engeren Schutzzone sind Bauvorhaben grundsätzlich verboten. Dies betrifft jedoch nur den Bereich auf der Donauinsel

Oberer Wöhrd. Außerdem befindet sich unterhalb des Nordarms ein Grundwasserreservoir, weshalb hier an bestimmten Stellen nicht tief in der Sohle gearbeitet werden kann.

Tabelle 1: Abflussverteilung gemäß Bescheid der Stadt Regensburg vom 23.02.1989 (Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt Donau MDK, 1991)

Gesamtzufluss m³/s	Nordarm m³/s	Südarm m³/s
100	25	75
200	25	175
275	25	250
300	50	250
330	80	250
400	80	320
500	80	420
525	80	445
600	105	495
700	135	565
800	165	635
900	195	705
1000	225	775

4.2 Standort 2: Wehrbrücke Pfaffensteiner Wehr - Nordarm



Abbildung 10: Triebwerk am Pfaffensteiner Wehr mit Blick von Norden auf den Oberen Wöhrd (Foto: Dominik Hochhäusler, 31.07.2022)

Auf der Westspitze der Donauinsel Oberer Wöhrd befindet sich das Generatorenhaus des Kraftwerks (siehe Abbildung 10). 1977 wurde das Laufwasserkraftwerk in Betrieb genommen und ist Eigentum der Rhein-Main-Donau GmbH in München. Der Betreiber Uniper Kraftwerke GmbH steuert und überwacht das Kraftwerk von Landshut aus. Zum einen wird Wasser mit einem Ausbaudurchfluss von maximal $240 \text{ m}^3/\text{s}$ durch zwei Kaplan-turbinen mit einer Nennleistung von 7,2 MW in den Südarml der Donau geleitet (jährlich ca. 49 Millionen kWh). Seit 1990 wird ein weiterer Teil der Donau durch ein Triebwerk mit einer Leistung von 2,25 MW (jährlich ca. 14. Millionen kWh) in den Nordarm abgezweigt. Der produzierte Strom des Kraftwerks mit gesamten Ausbaudurchfluss von $320 \text{ m}^3/\text{s}$ wird seit 2017 durch die REWAG vermarktet. In den letzten 70 Jahren betrug der Durchfluss in der Donau mind. 50 % der Tage mehr als $320 \text{ m}^3/\text{s}$, also mehr als der gesamte Ausbaudurchfluss des Kraftwerks und die Schleusentore müssen geöffnet werden (Analyse der Daten des Bayerischen Landesamtes für Umwelt durch Addieren der Zuflüsse Donau und Naab).

Der Pegel des Oberwassers muss immer konstant für die Schifffahrt im Europakanal gehalten werden und liegt bei Normalstau bei 332,5 m ü. NHN. Die Länge der Stauhaltung

ist ca. 21 km (Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt -Außenstelle Süd- , 2013). Die Wehröffnung in den Nordarm ist ca. 19 m breit.

Eine ökologische Durchgängigkeit ist in den Nordarm nicht gegeben. Grundsätzlich ist die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) an den Bundeswasserstraßen für die Herstellung dieser Durchgängigkeit zuständig. Im Main, den Main-Donau-Kanal und die Donau ist das Wasserstraßen-Neubauamt (WNA) Aschaffenburg mit dieser Aufgabe betraut. An 45 Staustufen sollte eine Fischaufstiegsanlage errichtet werden, welche nacheinander nach einem Priorisierungskonzept errichtet werden. Am Pfaffensteiner Wehr wird aktuell nichts geplant.

Wirschum von der Technischen Universität München entwarf einen grobes Architekturkonzept für eine Flusswelle und eine Ermöglichung der Fischdurchgängigkeit an der Stauanlage des Nordarms (Wirschum, 2017).

4.3 Standort 3: Nordarm vor dem renaturierten Abschnitt



Abbildung 11: Nordarm auf Höhe des Wehres mit Blick von Norden stromabwärts auf den Oberen Wöhrd (Foto: Dominik Hochhäusler, 31.07.2022)

Der Donau-Nordarm liegt zwischen Dultplatz und Inseipark. Der betrachtete Standort befindet sich bei einer Verengung des Nordarmes kurz vor dem Renaturierungsabschnitt. Die ersten 150 m nach dem Kraftwerk sind mit betonierten Stufen versehen, danach beginnt

eine Flusslandschaft mit neu angelegten Buchten. Ab dieser Stelle des Seitenarmes der Donau wurde 2015 das versteinerte Ufer umgestaltet und 15 000 Kubikmeter Erde abgetragen, womit auf einem 800 Meter langen Uferstreifen eine Retentionssfläche geschaffen wurde. Diese Maßnahme kostete 300 000,- € und wurde zu 30 Prozent vom Freistaat Bayern finanziert. Das Wasserwirtschaftsamt gestaltete mit der Donau-Naab-Regen-Allianz (DoNaReA e.V.) und der Stadt Regensburg dieses Fußraumkonzept. Die DoNaReA e.V. engagiert sich für die Renaturierung der Flusslandschaften, lebendige Gestaltung von Flüssen und Auen sowie den Schutz von Überschwemmungsgebieten.

Die Pappelallee auf dem Oberen Wöhrd, nördlich und östlich der RT Mehrzweckhalle ist ein Naturdenkmal und Teil eines Wasserschutzgebiets (Stadt Regensburg, 2022). Der oberirdische als auch der unterirdische Teil der Bäume sind in ihrem Bestand geschützt. Baumaßnahmen können an dieser Stelle nicht vorgenommen werden.

Tabelle 2: Bezugswasserstände (Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt Donau MDK, 2002). RNW (Regulierungsniederwasserstand): Wasserstand, dessen Abfluss an 94 % der Tage der Jahresreihe 1961/90 erreicht oder überschritten wurde (343 Überschreitungstagen im Jahr). MW (Mittelwasserstand) entspricht MQ (mittlerer Abfluss). HSW (Höchster Schifffahrtswasserstand): Festgelegter Wert gemäß DonauSchPv § 10.01 Nr. 1

WSA Regensburg
Stand: Dezember 2002

Alle Höhen in m ü. NN (DHHN 1912)

Donau-km	RNW '97			MW (JR 1961/90)			HSW			Bemerkung
	NN [m ü. NN]	W [cm]	Q [m³/s]	NN [m ü. NN]	W [cm]	Q [m³/s]	NN [m ü. NN]	W [cm]	Q [m³/s]	
2383,000	332,51		183	332,54		414	332,62		1315	
S 2382,000	332,51		183	332,52		414	332,54		1315	
S 2381,330	332,50		183	332,50		414	332,50		1315	KW Regensburg OW (NN)
<u>Nordarm Regensburg</u>										
N 2381,000	328,03		25	328,80		80	331,17		225	
N 2380,900	327,95	465	25	328,65	535	80	331,14	784	225	Pegel Rbg. - Nordarm UP
N 2380,000	327,49		25	328,14		80	330,83		225	
N 2379,000	327,46		25	327,92		80	330,40		225	
<u>Südarm Regensburg</u>										
S 2381,280	328,13		158	328,79		334	331,48		1090	KW Regensburg UW (NN)
S 2381,100	328,12		158	328,74		334	331,41		1090	Pegel Rbg. - Südarm UP (NN)
S 2381,000	328,12		158	328,71		334	331,37		1090	
S 2380,000	327,89		158	328,53		334	331,01		1090	
S 2379,270	327,56	206	158	328,09	259	334	330,50	500	1090	Pegel Eiserne Brücke

Von N 2381,000 (circa 100 m nach dem Kraftwerk) im Unterwasser des Triebwerks im Nordarm bis zum Ende des Nordarms N 2378,000 sind es bei Mittelwasserstand (mit Abfluss von 80 m³/s) nur ca. 0,88 m an Gefälle über eine Strecke von 2000 m (siehe Tabelle 2). Über

die ersten 200 m nach dem Wehr fällt der Wasserstand nur ca. 15 cm. Der Abfluss durch den Nordarm beträgt zwischen 25 m³/s und 225 m³/s (siehe Tabelle 1).

2016 unternahm Alexander Schön (2016) in einer Projektarbeit eine Peripherieplanung für eine Surfwehle in Regensburg. Unter Beachtung aller kritischen Aspekte zog diese Arbeit den Schluss, dass ein Bau einer Flusswehle an diesem Standort möglich sei.

Die Bachelorarbeit von Jegel & Glötzel (2016) baut auf der Grundlagenforschung von Mathias Lagleder auf. Sie untersuchten den Durchfluss im Nordarm nach dem Kraftwerk und stellten mit Modellversuchen die ‚Waveshaper‘-Technologie von Boise Whitewater Park - McLaughlin Whitewater nach.



Abbildung 12: Blick stromabwärts auf den renaturierten Bereich des Nordarmes (Foto: Dominik Hochhäusler, 13.10.2022)

4.4 Standort 4: Sorat Hotel/Brandner Kanal



Abbildung 13: Brandner Kanal am Sorat Hotel bei der Ortsbesichtigung am 31.07.2022

Das denkmalgeschützte Gebäude, welches ursprünglich die Brandner Werkstätte beheimatete, wurde zu einem Hotel umgebaut (siehe Abbildung 13). In dem ehemaligen Manufakturegebäude auf der künstlich angelegten Insel wurde schon seit dem Mittelalter die verfügbare Strömungsenergie mit Wasserrädern für große Schmiedehammer und anschließend von der Brandner'schen Manufaktur zum Antrieb ihrer Maschinen genutzt (siehe Abbildung 14).

An diesem Standort existiert kaum Gefälle. Die Kanäle durch das Gebäude und der Zufluss sind versandet. Oft fließt kaum Wasser durch den Kanal.

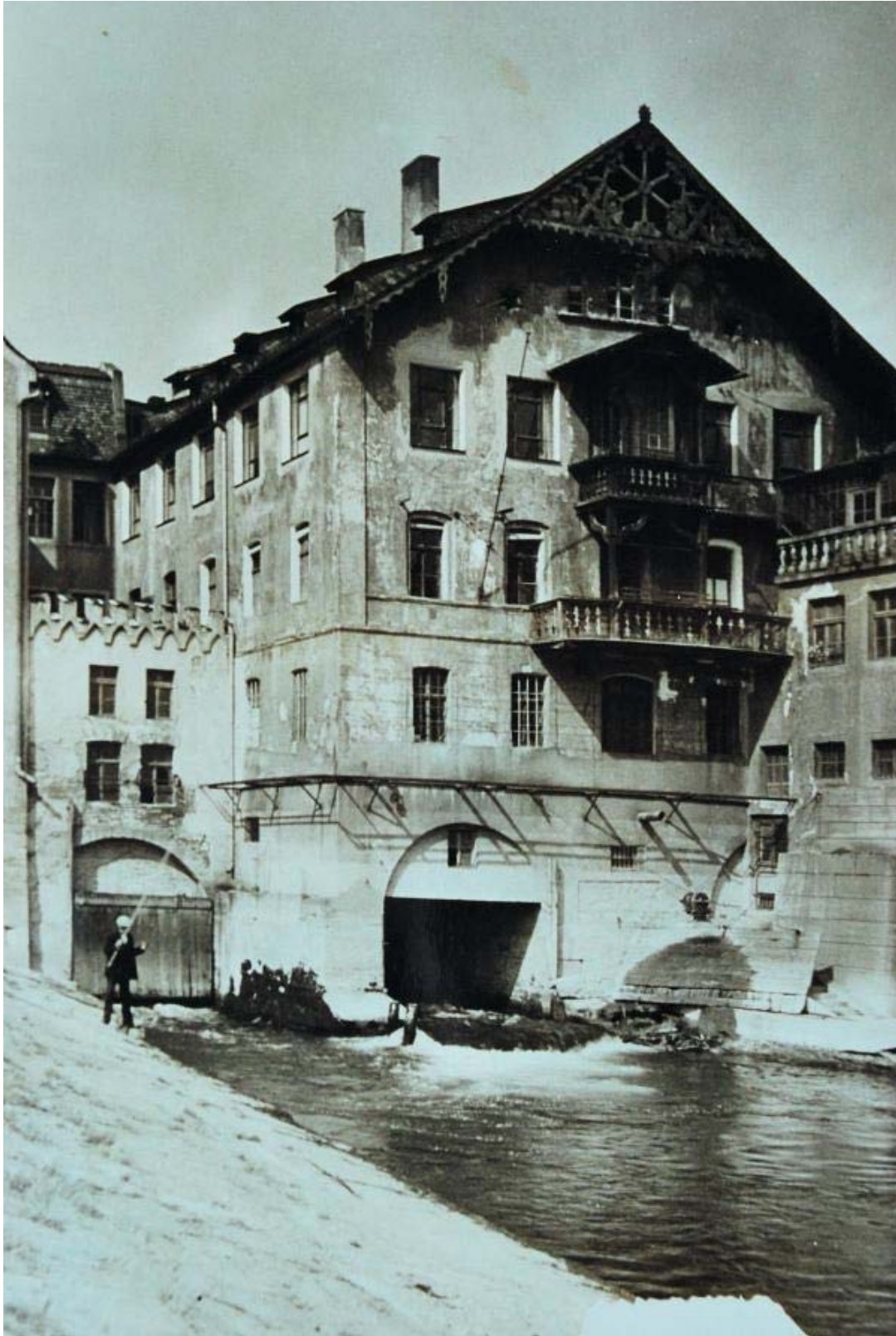


Abbildung 14: Brandner Werkstätte am Oberen Wöhrd um 1910 (Wikipedia)

4.5 Standort 5: Unter der steinernen Brücke im Nordarm



Abbildung 15: Blick von oben auf die steinerne Brücke über den Nordarm (Foto: spitalseniorenheim.de)

Die Steinernen Brücke wurde von 1135 bis 1146 als Bogen-Pfeiler-Konstruktion (16 Rundbögen auf 15 Pfeilern) aus Donaukalkstein und Grünsandstein errichtet. Sie ist 336 m lang und die Bögen haben eine Spannweite zwischen ca. 10 m und 16 m. Am 13. Juli 2006 nahm die UNESCO das Gesamtensemble der Regensburger Altstadt mit Stadtamhof als Welterbestätte in die Welterbeliste auf. Zwischen dem Herzogspark im Westen und dem Villapark im Osten liegt der Flusslauf der Donau im Bereich des denkmalgeschützten Ensembles. Aus Sicht der Denkmalpflege Regensburg ist ein Bauvorhaben zwischen den Bögen der Steinernen Brücke „vor dem Hintergrund der vielschichtigen Bedeutung dieses romanischen Bauwerks“ kaum vorstellbar, jedoch muss für eine genauere Auskunft die Anfrage präzisiert werden und das Tiefbauamt Regensburg und das WSA kontaktiert werden (E-Mail von Dr. Trapp/Denkmalpflege Regensburg, 26.10.2022).

Der Standort, welcher in diesem Abschnitt betrachtet wird, liegt zwischen der Jahninsel und Stadtamhof (siehe Abbildung 15). Im 50 m breiten Donau-Nordarm, welcher durch drei Bögen der Steinernen Brücke fließt.

Der Durchfluss und das Gefälle an diesem Standort sind in Tabelle 2 dokumentiert. Das Gefälle stromaufwärts bis zum Renaturierungsabschnitt beträgt nur wenige Zentimeter. Der Abfluss durch den Nordarm beträgt zwischen 25 m³/s und 225 m³/s.

Im Bereich der Brückenpfeiler existiert für Menschen und kleine Boote gefährliche Strömung.

4.6 Standort 6: Mühlenarm in der Donau nach der Steinbrücke



Abbildung 16: Mühlenarm, Blick stromabwärts auf die Eiserne Brücke (WSA und Stadt Regensburg, 2017)

Das alte Mühlrad und die Gärten der Mühleninsel („Gareisinsel“) gibt es seit 1734. Die Mühleninsel liegt direkt gegenüber der historischen Wurstkuchl. Dieser Abschnitt wird für Wohnungen auf der einen Seite benutzt und das Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt (WSA) Regensburg ist Grundstückseigentümer auf der anderen Seite. 2017 hieß es, die Insel sei nicht mehr standsicher und müsse teilweise abgetragen werden (WSA und Stadt Regensburg, 2017). Gleichzeitig plante das Wasserwirtschaftsamt (WWA) Regensburg zusammen mit der Stadt, den technischen Hochwasserschutz an den Gebäuden zu verbessern. Jedoch wurden diese Pläne 2018 nach einem Aufschrei von Regensburgern verworfen. Wegen dieses Standorts saßen die Stadt, das WSA, das Landesamt für Denkmalpflege, der Anglerbund und der Verein DoNaReA sowie die Anwohner an einem runden Tisch. Es wurde entschieden das stadtbildprägende Ensemble zu erhalten und nur die Mauern der Insel zu sichern und den Hochwasserschutz zu planen.

Das verfügbare Gefälle und die verfügbare Wassermenge sind sehr gering.

4.7 Standort 7: Pielmühler Wehr/Zeitlarn/Lappersdorf



Abbildung 17: Der Kartenausschnitt zeigt das Pielmühler Wehr angrenzend an Regensburg, Zeitlarn und Lappersdorf (Stadt Regensburg, 2022)

Circa 6 km nördlich von Regensburg befindet sich bei Fkm 4+861 des Regens das Pielmühler Wehr. Es grenzt sowohl an Zeitlarn, die Stadt Regensburg als auch im Unterwasser an Lappersdorf an (siehe Abbildung 17). Das 1977 dort neu wegen der Autobahn A93 erbaute Wehr besitzt die Hauptintentionen die Stauwasserhöhe im Oberwasser beizubehalten, um die Grundwassersituation im Umfeld des Wehrs nicht zu verändern und der Sohlerosion entgegenzuwirken. Das Wehr befindet sich im Eigentum des Freistaats Bayern und wird vom Wasserwirtschaftsamt Regensburg betreut.



Abbildung 18: Luftbild des Pielmühl Wehrs von Zeitlarn/Regensburg aus (Landeskraftwerke Bayern GmbH, 2022)

Im Jahr 1997 wurde ein zusätzliches, in Fließrichtung links befindliches, Umgehungsgerinne erstellt (siehe Abbildung 18). Das Wehr verfügt über eine Bootsgasse, welche die Durchgängigkeit des Wehrs für Kanufahrer gewähren soll. Diese befindet sich in Fließrichtung rechts von dem Wehr. Aufgrund der zweckentfremdeten Benutzung als Rutsche durch einige Badegäste kam es in der Vergangenheit immer wieder zu Unfällen. Das ganze Gerinne wurde 2010 mittels Borsten zu einem Borstenfischpass umgebaut, der auch mit kleinen Booten passierbar ist und für eine weitere Benutzung ungeeignet sein sollte.

Beim Wehr Pielmühle wurde eine untypische Gestaltung des Tosbeckens gewählt. In den ersten 2,50 m ist ein Stahlbetonblock verbaut, der direkt mit dem Wehrrücken verbunden ist. Danach folgt ein senkrechter Absturz von 70 cm Höhe auf ein, 1:20 geneigtes und 10 m bis 22 m breites Sohlpflaster aus auf Zementmörtel gebetteten Wasserbausteinen (siehe Querschnitt des Wehres in Abbildung 19). Bei Normalabfluss ($MQ = 38 \text{ m}^3/\text{s}$) stellt sich ein vollkommener Überfall ein, d.h. der Unterwasserspiegel hat keinen Einfluss auf den Oberwasserstand. Der etwa 2 m hohe Stahlbetonkörper hat eine Länge von 108 m und einen Radius von 70 m. Der Höhenunterschied zwischen Ober- und Unterwasser beträgt bei Mittelwasser 1,67 m.

Bei Hochwasser stellt das Wehr eine Lebensgefahr durch die Wasserwalze im Unterwasser da. 2020 ertranken drei Jugendliche fast (Wochenblatt, 2017). 2021 kam ein 53-Jähriger am

Wehr bei der Rettungsaktion seines 6-Jährigen Kindes ums Leben (Held, 2021). Daraufhin erließ das Wasserwirtschaftsamt Regensburg ein Badeverbot direkt am Wehr. Seit Jahrzehnten gibt es Bemühungen die Situation am Wehr zu entschärfen.

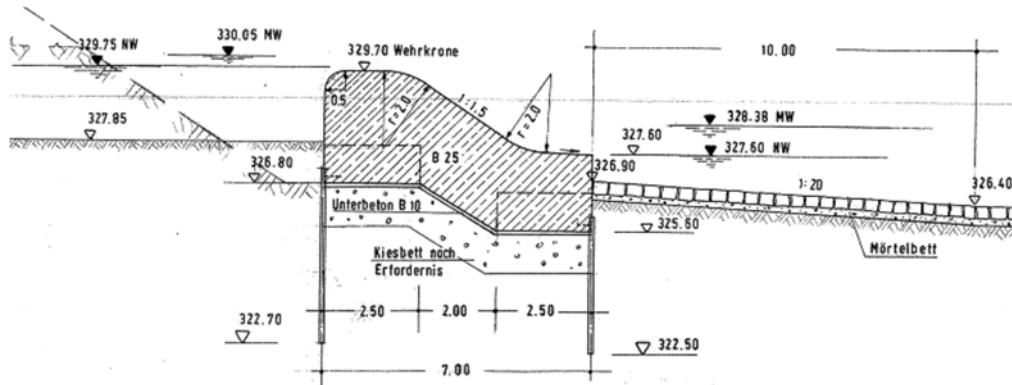
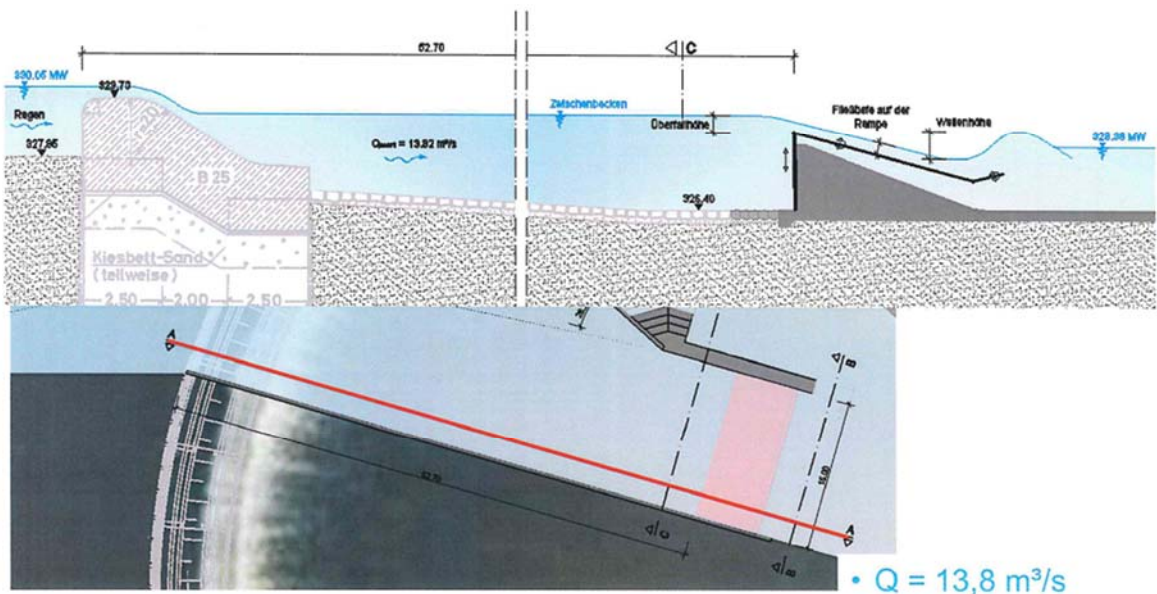


Abbildung 19: Schnitt durch das Wehr (Bereitgestellt durch das Wasserwirtschaftsamt Regensburg aus der Masterarbeit Lagleder, 2013)

Für viele Lebewesen aller Art ist das Pielmüler Wehr das „Eingangstor“ aus der Donau in den Regen, jedoch ist der Fischaufstieg im Moment fraglich zu bewerten. Bei einer Ortsbegehung am 13.10.2022 schienen die Borsten des Fischpasses umgeknickt und die Strömung über die Fischaufstiegsanlage zu schnell für einen Fischaufstieg, obwohl der Durchfluss nur etwa $20,3 \text{ m}^3/\text{s}$ an der Messstelle Marienthal kurz über der Staustufe betrug (Bayerisches Landesamt für Umwelt, 2022). Ein solcher Durchfluss ist für den Regen an dieser Stelle niedriger als normalerweise und die Fischtreppe sollte mit mäßig fließendem Wasser überspült werden ($\text{MQ } 36,8 \text{ m}^3/\text{s}$). Für schnellere Fische ist der Aufstieg durch das Umgehungsgerinne möglich.

2010 gab es Bemühungen seitens des Bayerischen Kanuverbands / Kanubezirk Oberpfalz eine stehende Welle zu realisieren. Die Machbarkeit wurde bei Prof. Aufleger angefragt und von diesem bestätigt (Auer, 2011) (Abbildung 20).

• Optimierung des Standortes für Surfer und Kajakfahrer



Angaben gemäß Uni Innsbruck, Prof. Dr.-Ing. habil. Markus Aufleger

• Kosten ca. 750.000 €

Abbildung 20: Konzept zur Nutzung des Restwassers neben dem geplanten Kraftwerk (Soyer, 2012)

2011 wurde eine Bachelorarbeit von Sebastian Auer der Hochschule Deggendorf zur Umgestaltung des Wehres Pielmühle verfasst, welche eine möglichst wirtschaftliche Lösung für eine Verbesserung der Situation als Ziel hatte (Auer, 2011). Er schlägt fünf Varianten vor:

- eine Kraftwerksnutzung,
- eine stehende Kanuwelle,
- eine raue Rampe,
- eine Kombination aus rauher Rampe und Kanuwelle oder
- die Kombination aus den drei ersten Varianten.

Die Raue Rampe wird von Auer vor allem wegen der Einfachheit, Integration in Landschaftsbild und den Kosten am besten bewertet. 2012 wurde das Konzept einer Welle als optionale Nutzung des Restwassers eines geplanten Wasserkraftwerks an diesem Standort präsentiert (Soyer, 2012). Abbildung 20 zeigt ein Konzept zu dieser Welle.

Mathias Lagleder (2013) legte eine Masterarbeit vor, wie eine surfbare Flusswelle am Pielmühler Wehr gestaltet werden könnte.

Armandi und Holzer (2021) verwendeten den Standort Pielmühle als Grundlage für ihre Versuche im Wasserkanal. Sie untersuchten unterschiedliche Rampengrößen und Einstellungen mit verschiedenen Unterwasserständen.

In diesem Jahr untersuchte Lukas Kuyten (2022) in seiner Bachelorarbeit einen Lösungsansatz für die Deckwalzenproblematik zur Vermeidung von tragischen Badeunfällen. Durch Simulationen konnte die Verbesserung der Situation durch eine langes Raugerinne bewiesen werden. Jedoch stellt diese Maßnahme einen großen Eingriff in die aktuellen vorhandenen Begebenheiten dar und muss dahingehend überprüft werden.

Die Bayerische Landeskraftwerke GmbH plant in Strömungsrichtung links des bogenförmigen Wehres den Bau einer Wasserkraftanlage, die zusammen mit dem Regensburger Energie- und Wasserversorgungsunternehmen REWAG betrieben werden soll. Die Planung erfolgt durch die RMD-Consult GmbH aus München und sieht einen Fischaufstieg um das Kraftwerk und einen zusätzlichen Laichplatz ein kurzes Stück flussabwärts vor, um mögliche Beeinträchtigungen des Laichplatzes unterhalb des Wehres auszugleichen. Das Kraftwerk würde mit zwei Very Low Head (VLH)-Turbinen mit einer Gesamtleistung von 600kW betrieben werden. Es hätte eine Fallhöhe von 1,7 m und einen Durchfluss von 36 m³/s (Landeskraftwerke Bayern GmbH, 2022). Die Antragsunterlagen für das wasserrechtliche Genehmigungsverfahren wurden Ende 2012 beim Landratsamt Regensburg eingereicht.

Die Donau-Naab-Regen-Allianz (DoNaReA e.V.) hatte 2019 eine Petition gegen das Projekt gestartet: Der Regen sei ein besonders artenreiches Biotop und zugleich einer der schönsten und beliebtesten Badeplätze. Folgende Einwendungen brachten die Gegner des geplanten Wasserkraftwerkes vor:

- „Einschränkungen des Badebetriebs am Pielmühler Wehr“
- „Auswirkungen auf das Naherholungsgebiet“
- „Auswirkungen auf die Gewässerökologie (Flora-Fauna-Habitat-Gebiet (FFH): Schädigungen durch Turbinen und Zerstörung der Habitate)“
- „Auswirkungen auf Grund- und Hochwasser“
- „Gefahren für das Wasserschutzgebiet Sallern und Lauber Hölzl“

Als Folge der Petition beschloss der Umweltausschuss des Bayerischen Landtags, dass „die Planungen der Landeskraftwerke ruhen sollen, bis ein Konzept für den Neubau von Kleinwasserkraftwerken erstellt ist, das den Naturschutz und die Naherholung stärker gewichtet“ (Donau-Naab-Regen-Allianz (DoNaReA) , 2020). Laut den Landeskraftwerken Bayern GmbH wurde die Staatsregierung vom Umweltausschuss dazu aufgefordert die politischen Rahmenbedingungen für die „Kleine Wasserkraft“ zu überprüfen und das Genehmigungsverfahren für das geplante Kraftwerk bis dahin ruhen zu lassen (Landeskraftwerke Bayern GmbH, 2022). Wie es mit diesem Projekt weitergeht, bleibt noch offen.

Die Verwaltung von Markt Lappersdorf legte einen Antrag der CSU-Fraktion zu einer Planung der Stadt Regensburg zur Einrichtung einer Surfwelle vor. Bestrebungen zu einer Welle gab es zu diesem Zeitpunkt jedoch nur seitens der Initiative ‚Welle Regensburg‘. Die Verwaltung zweifelte an, ob das „ohnehin schon gut frequentierte Pielmühler Wehr“ und die bisherige Nutzung in Einklang mit einer surfbaren Flusswelle zu bringen ist. „Der Marktgemeinderat stellte einstimmig fest, dass er einer Surfwelle in Pielmühle negativ gegenübersteht.“ (Markt Lappersdorf, 2021)

Hingegen sprach sich die Bürgermeisterin Frau Dobsch von Zeitlarn zu einer Welle tendenziell positiv gegenüber der Sozial- und Sport-Bürgermeisterin Frau Dr. Freudenstein aus.

5 Nutzwertanalyse und Bewertung der vorgestellten Standorte

Eine detaillierte Dokumentation der Nutzwertanalyse ist der beiliegenden Excel-Tabelle zu entnehmen. Im Folgenden werden die Bewertungen der einzelnen Standorte kurz erläutert. Dieser Abschnitt schließt in Kapitel 5.8 mit einer Zusammenfassung und einer quantitativen Bewertung der Standorte.

Ein wasserrechtliches Verfahren ist voraussichtlich an allen Standorten notwendig, wenn z.B. das Strömungsverhalten verändert wird. Grundlage für die Durchführung von Wasserrechtsverfahren bildet in Regensburg das Wasserhaushaltsgesetz (WHG) in Verbindung mit dem Bayerischen Wassergesetz (BayWG) sowie nachgelagerten Verordnungen und Regelwerken. Alle Überlegungen zu einer Welle erfolgen nach dem WHG. Dabei ist es wichtig, die Gewässer nachhaltig zu bewirtschaften (§6 WHG).

Alle Standorte liegen im Hochwasserschutzgebiet/Überschwemmungsgebiet (Bayrisches Landesamt für Umwelt, 2022), welches bei der Planung mitberücksichtigt werden muss. Die Stadt Regensburg und der Freistaat Bayern haben in den letzten Jahren sehr viel dafür getan den Hochwasserschutz der Stadt kontinuierlich auszubauen und zu verbessern.

Zudem befinden sich alle Standorte in Gewässern erster Ordnung. In der Donau und im Regen sind vor oder nach den Standorten Badeplätze ausgeschrieben, weshalb die Wasserqualität für den Menschen dort als unbedenklich bewertet wird.

Es besteht ein Verschlechterungsverbot nach der EG-Wasserrahmenrichtlinie (2000/60/EG): „Änderungen/Baumaßnahmen an bestehenden Gewässern dürfen aus Sicht des Umwelt- und Naturschutzes nicht zu Verschlechterungen führen.“ In einem Konzept für eine Welle könnten „Biotop-Entwicklungszonen“ der Aufstiegshilfen für Lebewesen zur Verbesserung angeboten werden, die in Zusammenarbeit mit den Verbänden gestaltet werden können. Nach Möglichkeit soll bei Umbauten an bestehenden Gewässern nach der EG-Wasserrahmenrichtlinie eine Artendurchgängigkeit erzielt werden.

5.1 Standort 1: Pfaffensteiner Wehr an der Fischtreppe (Südseite)

An diesem Standort könnte eine Welle als Umgehung des Wehres neben der Fischtreppe gebaut werden. Dafür müsste ein eigener Kanal angelegt werden.

Im Flussraumkonzept 2010 wurde ein ähnlicher Vorschlag gemacht: „Im Zusammenhang mit der Wildwasserstrecke könnte der Bereich in Form eines Wasserspielplatzes aufgewertet werden. Der Kostenaufwand für die Realisierung der Maßnahme ist jedoch sehr hoch (umfangreiche Baumaßnahmen, Ausgleich der Energieverluste durch permanente Wasserausleitung an den Betreiber des Wasserkraftwerkes). [...] Eine für Kanu- und Kajakfahrer attraktivere Wildwasserstrecke wäre nur unter Umgehung des Wehres auf der Südseite realisierbar. Die Maßnahme wäre mit hohem technischem Aufwand verbunden, der

Hochwasserdamm müsste geöffnet, eine Verschlusseinrichtung am Damm vorgesehen sowie eine Straßentrasse gekreuzt werden. Ferner entstehen dem Betreiber E.ON am Pfaffensteiner Wehr Verluste, die ersetzt werden müssten. Eine Kombination der Wildwasserstrecke mit der Möglichkeit eines Fischaufstiegs ist nicht möglich, da sich die Mündung der Kanustrecke nicht bis zu den Zugbahnen der Fische verbinden lässt.“ (WWA und Stadt Regensburg, 2010)

Die Konstruktion eines Umgehungsgerinnes um das Pfaffensteiner Wehr mit der Generierung einer Welle könnte hingegen mit einer Fischtreppe verbunden werden, dies konnte zum Beispiel an der Wellenkonstruktion am Ebensee/Österreich gezeigt werden. Eine ausführliche qualitative Bewertung gibt Tabelle 3.

Der Aufwand für die Realisierung der Maßnahme ist an diesem Standort sehr hoch. Außerdem steht die Wasserausleitung zeitweise in Konkurrenz zum Kraftwerk. Eine Welle ist hier also möglich, aber mit einem hohen Aufwand verbunden.

Eine Variante wäre, eine Welle in eine der Wehrklappen zu integrieren. Hier könnte direkt neben dem Kraftwerk, wo sich die Lockströmung für die Fische befindet, eine Fischtreppe in des Wellenkonzept integriert werden. Diese Option wird jedoch aufgrund der im Unterwasser fahrenden Schiffe ausgeschlossen. Mögliche Lösungsansätze müssten in jedem Fall mit dem WSA Domau MDK abgestimmt werden.

Tabelle 3: Qualitative Bewertung Standort 1: Pfaffensteiner Wehr

Kriterien	Bewertung von Standort 1
Allgemeine Rahmenbedingungen	<ul style="list-style-type: none"> + Keine Anwohner + Sicherer Ein- und Ausstieg im Kanal - Ein Umgehungsgerinne wäre nur möglich, wenn eine Gesamtlösung mit Fischtreppe und Verkehrswegen umgesetzt werden kann. - Abtreiben der Surfer nach dem Kanal in den Bereich der Sportbootschleuse muss verhindert werden - Konkurrenz zum Kraftwerk (siehe auch harte Kriterien)
Harte Kriterien	<ul style="list-style-type: none"> + Gefälle und Abfluss vorhanden - Eine Welle verursacht bei Niedrigwasser einen Interessenskonflikt mit dem Kraftwerk und den Betreibern (Uniper GmbH), da die Welle mindestens 10 m³/s benötigt. An etwa 50 % der Tage müsste dies mit der Uniper GmbH abgeklärt werden (mehr Details siehe Kapitel 6.1)
Weiche Kriterien	<ul style="list-style-type: none"> + Guter Zugang für den Umbau (Kran, Bagger, ...) - Mehrere Grundstückeigentümer müssen Vorhaben zustimmen, was sich als kompliziert gestalten könnte. - Es wären aufwändige Lösungen notwendig, erste Schätzung: knapp zweistelliger Millionenbetrag. - Nicht leicht rückbaubar

5.2 Standort 2: Nordarm am Kraftwerk

Für den Standort 2 werden zwei Varianten vorgeschlagen, analysiert und bewertet:

- Standort 2a: Integration einer Welle direkt unterhalb der Wehrklappe
- Standort 2b: Ausführung als schwimmende Plattform einige Meter stromabwärts des Wehres (analog UNIT Surf Pool)

Beide Lösungen sind theoretisch auch auf der Südseite des Pfaffensteiner Wehres denkbar.

5.2.1 Standort 2a: Integration einer Welle direkt unterhalb der Wehrklappe

Die Konstruktion zur Wellenerzeugung würde in das vorhandene Bauwerk integriert werden. Dabei werden der aufgestaute Höhenunterschied und der vorhandene Kanal genutzt.



Abbildung 21: Visualisierung eines Konzepts im Wehrtor im Nordarm (Wirschum, 2017)

Die harten Kriterien für die Erzeugung einer surfbaren Welle sind erfüllt, wobei dies voraussichtlich mit einem hohen Aufwand verbunden ist.

Ein Vorteil dieses Standorts ist, dass die Fischdurchgängigkeit durch den Umbau des Wehres direkt an der Lockströmung des Kraftwerks hergestellt werden könnte. Damit würde das Pfaffensteiner Wehr für viele Lebewesen in der Donau keine Grenze mehr darstellen.

Zudem könnte die Problematik des heute fehlenden Feststofftransportes bzw. Geschiebes von Sand und Kies berücksichtigt werden. „Die fehlende Zufuhr von Sedimenten, insbesondere von Geschiebe, in die flussabwärts gelegenen Abschnitte des Flusses führt zu einem Geschiebedefizit und damit zu einer Vertiefung der Flusssohle. Durch Sohldurchbrüche können lokal tiefe Kolke entstehen, die z. B. die Sicherheit von Brücken oder anderen angrenzenden Bauwerken beeinträchtigen können. Mit der Vertiefung der Flusssohle sinken auch der Grundwasserspiegel und die Häufigkeit von Überschwemmungen in den Auen.“ (Bayrisches Landesamt für Umwelt, 2022). Aktuell ist als ökologische Ausgleichsmaßnahme eine Nachschüttung von Kies im Nordarm notwendig. Laut Informationen von Herr Schneider (Anglerbund) war das Grundgestein zeitweise schon sichtbar. Es besteht die Befürchtung/Gefahr, dass die Grundwasserbrunnen verunreinigt werden oder Schaden nehmen. Mit dem Bau einer Welle könnte die Situation verbessert werden.

Tabelle 4: Qualitative Bewertung Standort 2a: Nordarm im Wehr

Kriterien	Bewertung von Standort 2 a)
Allgemeine Rahmenbedingungen	<ul style="list-style-type: none"> + Keine Anwohner + Kein speziell ausgeschriebenes Naturschutzgebiet + Der Feststofftransport in den Nordarm kann verbessert werden - Abtreiben zum Kraftwerksauslass muss verhindert werden - Grundstückseigentümer (WSV) und Kraftwerkseigentümer (Uniper GmbH) müssen Projekt zustimmen - Teil einer Schifffahrtsstraße - Die Badeverordnung ist zu beachten: Baden in der Nähe von Schleusenanlagen und Kraftwerken ist grundsätzlich verboten - Konkurrenz zum Kraftwerk
Harte Kriterien	<ul style="list-style-type: none"> + Gefälle und Abfluss vorhanden - Eine Welle verursacht bei Niedrigwasser einen Interessenskonflikt mit dem Kraftwerk und den Betreibern (Uniper GmbH), da die Welle mindestens 10 m³/s benötigt. An etwa 50 % der Tage müsste dies mit der Uniper GmbH abgeklärt werden (mehr Details siehe Kapitel 6.1)
Weiche Kriterien	<ul style="list-style-type: none"> + Kanal vorhanden + Die Lage des Standorts ist sehr nahe an der Innenstadt Regensburg und besitzt eine gute Infrastruktur mit Parkplätzen und Anreisemöglichkeiten. + Gesamtlösung mit Fischtreppe möglich. Fischdurchgängigkeit in Nordarm wird realisiert - Schlechter Zugang für den Umbau (Kran, Bagger, ...) - Opex etwa 3 Mio. € - Nicht leicht rückbaubar

5.2.2 Standort 2b: Ausführung als schwimmende Plattform einige Meter stromabwärts des Wehres

Die surfbare Welle könnte auch in einer schwimmenden Plattform erzeugt werden, wie in Abbildung 22 visualisiert. Vorbild ist der UNIT Surf Pool, der mit Unterstützung der Hochschule München entwickelt wurde.

Das Wasser für die Welle wird über Schläuche vom Oberwasser in die Plattform geleitet. Weitere Details finden sich in Kapitel 6.

Für den Betrieb der Welle sind 10 m³/s Wasser in die Plattform zu leiten.



Abbildung 22: Visualisierung einer schwimmenden Plattform mit integrierter Welle im Nordarm (Foto: Google Earth, Visualisierung: Christoph Eschenwecker)

Standort 2b besitzt ähnliche Vor- und Nachteile wie Standort 2a. Es existieren einige zusätzliche Vorteile gegenüber Standort 2a:

- + Es sind keine Baumaßnahmen oder Veränderungen der Sohle erforderlich
- + Flora und Fauna werden durch die Plattform praktisch nicht beeinflusst. Sie ist mit einem vor Anker liegenden Lastkahn gleichzusetzen.
- + Die Konstruktion ist hochwassersicher ohne zusätzlichen Aufwand, da die Plattform mit dem Wasserstand schwimmt.
- + Einfache Steuerung durch Ventile, die schließen oder öffnen. Es sind keine elektrischen, elektronischen oder sonstige Antriebe und Vorrichtungen erforderlich.
- + Der Einbau ist einfach reversibel
- + Der Bau ist mit einem geringeren Aufwand verbunden (Capex < 2 Mio. €).

Die besondere rechtliche Situation der Bundeswasserstraße muss beachtet werden. Eine Abstimmung mit der WSV ist notwendig. Stimmt die Uniper GmbH oder der WSV dem Vorhaben nicht zu, so kann am Pfaffensteiner Wehr keine Welle realisiert werden.

5.3 Standort 3: Nordarm (stromaufwärts des renaturierten Bereichs)

Die harten Kriterien sind nicht vollständig erfüllt, da das Gefälle nicht ausreichend ist. Das Gefälle des Nordarms befindet sich hauptsächlich im Bereich der Renaturierung. In diesem Bereich soll keine Baumaßnahme vorgenommen werden. Ein Aufstauen in Richtung Wehr würde einen Verlust am Kraftwerk bedeuten.

Ein Querbauwerk und eine Aufstauung wären in diesem Bereich kontraproduktiv, weshalb dieser Standort als ungeeignet bewertet wird.

Tabelle 5: Qualitative Bewertung Standort 3: Nordarm (stromaufwärts des renaturierten Bereiches)

Kriterien	Bewertung von Standort 3
Allgemeine Rahmenbedingungen	<ul style="list-style-type: none"> + Kein speziell ausgeschriebenes Naturschutzgebiet - Renaturierungsgebiet im Unterwasser - Schifffahrtsstraße - Der Donaunordarm ist für Kieslaicher von hoher Bedeutung, da diese Bereiche zu den wenigen nicht staugeregelten Donauabschnitten zählen.
Harte Kriterien	<ul style="list-style-type: none"> + Abfluss vorhanden - Gefälle nur teilweise vorhanden - Eine Welle verursacht bei Niedrigwasser einen Interessenskonflikt mit dem Kraftwerk und den Betreibern (Uniper GmbH). Das Aufstauen um einige Zentimeter würde für das Kraftwerk Verluste durch verlorenen Höhenunterschied bedeuten.
Weiche Kriterien	<ul style="list-style-type: none"> + Von Menschenhand befestigte Ufer + Die Lage des Standorts ist sehr nahe an der Innenstadt Regensburg und besitzt eine gute Infrastruktur mit Parkplätzen und Anreisemöglichkeiten. - schlechte Zugänglichkeit (Kran, Bagger, ...) - Capex etwa 3 Mio. € - Nicht leicht rückbaubar

5.4 Standort 4: Sorat Hotel/Brandner Kanal

Der Brandner Kanal besitzt praktisch kein Gefälle, weshalb der Standort als ungeeignet eingestuft wird. Der Zufluss ist nahezu verlandet. Als Folge wird dieser Abschnitt der Donau kaum durchflossen.

Man könnte den Durchfluss durch einen Umbau erhöhen. Eine künstliche Welle könnte mit einem energetischen Aufwand von circa 350 kW betrieben werden (weitere Details in Kapitel 6). Dies würde den Nebenarm beleben und die Attraktivität für die Stadt erhöhen. Auch der Sauerstoffeintrag in den Gewässerabschnitt würde signifikant erhöht werden. Dies ist jedoch mit relativ hohen Investitions- und Betriebskosten verbunden.

Tabelle 6: Qualitative Bewertung Standort 4: Sorat Hotel/Brandner Kanal

Kriterien	Bewertung von Standort 4
Allgemeine Rahmenbedingungen	<ul style="list-style-type: none"> + Keine Schifffahrtsstraße + Mitten in der Stadt an einem sonst ungenutzten Kanal + Kein speziell ausgeschriebenes Naturschutzgebiet + Sicherer Ein- und Ausstieg + Belebung des Seitenarms - Anwohner/Hotel
Harte Kriterien	<ul style="list-style-type: none"> - Kein Gefälle und kaum Abfluss vorhanden
Weiche Kriterien	<ul style="list-style-type: none"> + Kanal vorhanden + Die Lage des Standorts ist sehr nahe an der Innenstadt Regensburg und besitzt eine gute Infrastruktur mit Parkplätzen und Anreisemöglichkeiten. + leicht rückbaubar - Schlechter Zugang für den Umbau (Kran, Bagger, ...) - Opex etwa 3 Mio. € - Nur mit Pumpenlösung möglich: Energiebedarf von ca. 350 kW

5.5 Standort 5: Unter der Steinernen Brücke im Nordarm

Unter Beachtung der Anforderungen des Denkmalschutzes könnte eine Welle sehr nah am Zentrum generiert werden. Eine Welle wäre aufgrund des ausreichenden Durchflusses des Nordarms in einem der Bögen möglich. Dazu wäre jedoch ein Aufstau nötig, da ein Gefälle von mind. 1 m erzeugt werden müsste. Der Bereich des Aufstaus würde in das Gebiet der Renaturierung und sogar bis zum Kraftwerk hoch hineinreichen, da nur 0,88 m an Gefälle im gesamten Nordarm vorhanden sind. Dies steht im Konflikt mit dem Hochwasserschutz und dem Artenschutz, da diese Bereiche zu den wenigen nicht staugeregelten Donauabschnitten zählen. Die Aufstauung bedarf einer Erlaubnis nach §§ 8 ff., WHG Art. 15, 70 BayWG.

Zudem ist die Strömung unter und hinter der Brücke für Menschen als gefährlich einzustufen.

Die harten Kriterien sind also an diesem Standort nicht erfüllt. Eine größere Veränderung der Fließverhältnisse wäre nötig. Dieser Standort wird als ungeeignet bewertet.

Tabelle 7: Qualitative Bewertung Standort 5: Unter der steinernen Brücke im Nordarm

Kriterien	Bewertung von Standort 5
Allgemeine Rahmenbedingungen	<ul style="list-style-type: none"> + Kein speziell ausgeschriebenes Naturschutzgebiet - Renaturierungsgebiet im Oberwasser - Schifffahrtsstraße - Anwohner in der Nähe - Denkmalgeschützte historische Steinbrücke - Der Donaunordarm ist für Kieslaicher von hoher Bedeutung, da diese Bereiche zu den wenigen nicht staugeregelten Donauabschnitten zählen.
Harte Kriterien	<ul style="list-style-type: none"> + Abfluss vorhanden - Gefälle nur teilweise vorhanden - Ein Aufstau wäre notwendig. Dies steht im Konflikt mit dem Hochwasserschutz und dem Artenschutz.
Weiche Kriterien	<ul style="list-style-type: none"> + Kanal vorhanden + Die Lage des Standorts ist sehr nahe an der Innenstadt Regensburg und besitzt eine gute Infrastruktur mit Parkplätzen und Anreisemöglichkeiten. - Schlechter Zugang für den Umbau (Kran, Bagger, ...) - Capex etwa 3 Mio. € - Nicht leicht rückbaubar

5.6 Standort 6: Mühlenarm

Einerseits fließt durch den Kanal normalerweise nicht genügend Wasser, zudem besteht kein Gefälle an diesem Standort. Es befinden sich Anwohner direkt an diesem Seitenarm und es existieren schon jetzt Interessenskonflikte mit der örtlichen Nutzung und den Planungen. Eine Welle wäre nur mit großem Aufwand realisierbar.

Sowohl die allgemeinen Rahmendbedingungen, als auch die harten Kriterien sind nicht erfüllt. Dieser Standort wird nicht weiter betrachtet.

5.7 Standort 7: Pielmühler Wehr/Zeitlarn/Lappersdorf

Dieser Standort ist mit seinen Badeplätzen und Inseln schon ein Naherholungsgebiet und eine Welle könnte optimal in das Landschaftsbild und die Nutzung integriert werden.

Eine einfache Wellen-Lösung wäre an diesem Standort möglich (Capex << 1 mio. €). Eine Welle würde die Sicherheit des Wehres erhöhen bzw. könnte so gestaltet werden, dass die

Sicherheit – auch bei Hochwasser – deutlich verbessert wird. Die Gefahr durch eine Deckwalze bei höherem Durchfluss könnte entschärft werden. Über einen Umbau des Wehres wird schon lange diskutiert und ist dringend notwendig, um weitere tödliche Unfälle zu verhindern. Die Sicherheit während der Nutzung der Flusswelle ist bei Niedrigwasser sehr gut, wobei auch der Ein- und Ausstieg leicht möglich ist. Zudem gibt es keine Anwohner, die belästigt werden könnten. Die Funktionsfähigkeit der aktuellen Fischaufstiegshilfe am Kanupass am Pielmühler Wehr ist fraglich und könnte im Zuge der Gestaltung einer Flusswelle wieder in Stand gesetzt werden.

Laichplätze und sonstige ökologische Lebensräume sind zu beachten.

Die Planungsunterlagen zum Kraftwerk Pielmühle liegen dem Landratsamt vor und wurden nochmal vom Freistaat forciert dem WWA zur Prüfung gegeben. Wird das Kraftwerk genehmigt, so kann keine Welle generiert werden, da dann zu wenig Wasser zur Verfügung steht.

Tabelle 8: Qualitative Bewertung Standort 7: Pielmühler Wehr/Zeitlarn/Lappersdorf

Kriterien	Bewertung von Standort 7
Allgemeine Rahmenbedingungen	<ul style="list-style-type: none"> + Sicherer Ein- und Ausstieg für Nutzer + Keine Anwohner + Standort schon zur Freizeitnutzung freigegeben - FFH-Gebiet und Laichplätze - Kraftwerk befindet sich in Planung und könnte K.O.-Kriterium sein
Harte Kriterien	<ul style="list-style-type: none"> + Gefälle und Abfluss sind optimal gegeben
Weiche Kriterien	<ul style="list-style-type: none"> + Infrastruktur mit Freizeitgelände und Wehr vorhanden + Teilweise rückbaubar + Minimaler Eingriff + Gesamtlösung mit Fischtreppe möglich. Fischdurchgängigkeit in der Nähe der Lockströmung kann realisiert werden + Einbau mit wenig Aufwand möglich + Capex circa 500k € - Ober- und Unterwasser ist nicht beeinflussbar

5.8 Zusammenfassung und quantitatives Ergebnis der Nutzwertanalyse

Die Ergebnisse der Nutzwertanalyse können im Detail im parallel erstellten Tabellendokument „Nutzwertanalyse Welle Regensburg.xlsx“ nachvollzogen werden.

In Tabelle 9 sind die Ergebnisse zusammengefasst. Die Standorte sind in der Reihenfolge der Bewertung – beginnend mit der niedrigsten Bewertung – sortiert. Die bestbewerteten Standorte finden sich am Ende der Tabelle. In Spalte 4 sind die für die Bewertung bestimmenden Argumente und Kriterien zusammengefasst.

Die Nutzwertanalyse ergibt ein klares Ergebnis bezüglich der zu favorisierenden Standorte:

- Standort 2b: Nordarm am Pfaffensteiner Wehr/Schwimmende Plattform und
- Standort 7: Pielmühler Wehr

Für den Standort 7 ist abzuwarten, ob eine Kraftwerkslösung genehmigt wird. Im Falle einer Genehmigung könnte mit den Kraftwerksbetreibern diskutiert werden, ob eine kleinere Kraftwerksleistung geplant wird und dafür parallel eine Welle gebaut wird. Dieses Modell wird zum Beispiel am Tucher Park in München angestrebt.

An beiden Standorten ließe sich mit vertretbarem Aufwand eine Surfwellen generieren. Die technische Lösung würde jeweils so aussehen, dass der Eingriff in die Natur sehr gering wäre bzw. sogar positive Effekte für Flora und Fauna erzielt werden könnten.

Beide Standorte besitzen neben ihren sehr guten Voraussetzungen, eine schöne stehende Welle zu generieren, auch optimale Voraussetzungen als Ort der Begegnung für Surfer und Passanten.

Betrachtet man die Öffentlichkeitswirksamkeit für die Stadt Regensburg, so ist der Standort 2b mit seiner Lage in der Stadt zu bevorzugen. Zudem kann der Standort als Bildungsstätte für erneuerbare Energien und gleichzeitig als Sportstätte dienen.

Neben diesen zwei Standorten ist es auch an den meisten anderen untersuchten Standorten möglich, eine Welle zu generieren. Dies wäre in der Regel mit einem erhöhten Aufwand sowie größeren Herausforderungen bei Genehmigung und Bau verbunden. In den folgenden Kapiteln wird nur auf die beiden am besten bewerteten Standorte sowie eine Pumpenlösung eingegangen.

Tabelle 9: Quantitatives Ergebnis der Nutzwertanalyse

Standort	Name	Nutzwert (von max. 1,0)	Ausschlaggebende Kriterien
6	Nebenarm Donau-Südarm	0,44	<ul style="list-style-type: none"> + Gute Lage + Kanal vorhanden - Harten Kriterien nicht erfüllt (hier K.O.-Kriterium) - Mehrere Besitzer und Interessensgruppen → Planung als sehr aufwändig eingestuft
4	Sorat Hotel	0,50	<ul style="list-style-type: none"> + Optimale Lage - Harte Kriterien nicht erfüllt → Eine Welle könnte nur mit der Hilfe von Pumpen mit einer elektrischen Leistung von circa 350 kW erzeugt werden, falls dies an dieser Stelle zur Belebung des Brandnerkanals erwünscht ist.
5	Nordarm unter der Steinernen Brücke	0,63	<ul style="list-style-type: none"> + Gute Lage - Gefälle nicht ausreichend → Wasser müsste aufgestaut werden und führt zu naturschutz- und wasserschutzrechtlichen Problemen
3	Nordarm vor Renaturierungsabschnitt	0,63	<ul style="list-style-type: none"> + Gute Lage + Befestigte Ufer + Ausreichend Wasserdurchfluss - Das Gefälle ist nur teilweise gegeben. - Notwendiges Querbauwerk an dieser Stelle wird als kritisch bewertet → Aufstauung würde dauerhaft zu Interessenkonflikten mit den Kraftwerksbetreibern führen

2a	Pfaffensteiner Wehr in der Wehröffnung Nordarm	0,70	<ul style="list-style-type: none"> + Gute Lage + Harte Kriterien erfüllt (Gefälle von 5 m kann genutzt werden und durchschnittlich an mehr als 50 % der Tage im Jahr genügend Wasser vorhanden, ohne im Interessenskonflikt mit dem Kraftwerk zu stehen.) + Ein Beibehalten der Artengrenze am Nordarm widerspricht nicht dem oben genannten Verschlechterungsverbot, da derzeit ebenfalls keine Artendurchgängigkeit vorhanden ist. ➔ Trotzdem könnte mit dem Bau einer Welle an dieser Stelle eine Fischtreppe errichtet werden und so eine Fischdurchgängigkeit direkt an der Lockströmung des Kraftwerks ermöglicht werden. - Baumaßnahmen mit einem hohen Aufwand verbunden - Nur in enger Absprache mit der Uniper GmbH und der WSV (mehrere Interessensgruppen) möglich
1	Pfaffensteiner Wehr Fischtreppe	0,72	<ul style="list-style-type: none"> + Neben der Sportbootschleuse könnte im Zuge eines Umbaus die Fischdurchgängigkeit in den Donau Südarm hergestellt werden. + Harte Kriterien erfüllt (Gefälle von 5 m kann genutzt werden und durchschnittlich an mehr als 50 % der Tage im Jahr genügend Wasser vorhanden, ohne im Interessenskonflikt mit dem Kraftwerk zu stehen.) - Maximaler Aufwand - Der Abflussbedarf steht auch hier zeitweise im Konflikt mit dem Kraftwerk.
2b	Nordarm Schwimmende Plattform	0,90	<ul style="list-style-type: none"> + Geringe Auswirkungen auf die Natur + Geringer Aufwand

			<ul style="list-style-type: none"> + Hohe Öffentlichkeitswirksamkeit für die Stadt Regensburg + Standort als Bildungsstätte für erneuerbare Energien und gleichzeitig als Sportstätte - Nur mit Zustimmung der Uniper GmbH und der WSV möglich - Der Abflussbedarf steht auch hier zeitweise im Konflikt mit dem Kraftwerk.
7	Zeitlarn - Pielmühler Wehr	0,91	<ul style="list-style-type: none"> + Welle kann in die vorhandene Infrastruktur (Freizeitgelände) ohne großen Aufwand integriert werden + Verbesserung der Fischdurchgängigkeit + Entschärfung der lebensgefährlichen Wasserwalze bei Hochwasser + geringe Änderung der Strömungssituation - Auf die Laichgebiete und die weiteren Begebenheiten muss Rücksicht genommen werden - Eine Umweltverträglichkeitsprüfung ist aufgrund des FFH-Gebiets in jedem Fall notwendig <p>K.O.-Kriterium: Wird das geplante Kraftwerk an diesem Standort umgesetzt, so kann keine Welle generiert werden.</p>

6 Detaillierte Betrachtung ausgewählter Standorte

Im Folgenden werden die beiden nach der Nutzwertanalyse am besten bewerteten Standorte detaillierter ausgeführt.

Darüber hinaus wird kurz auf mögliche Lösungen eingegangen, die an einigen der beschriebenen Standorte mit Hilfe elektrischer Pumpen möglich wären.

Die Abschnitte 6.4 und 6.5 beleuchten die für alle Standorte grundlegenden Fragen der Schallimmission sowie möglicher Betreiberkonzepte.

6.1 Standort 2b: Nordarm – Schwimmende Plattform



Abbildung 23: Der schwimmende UNITSurfPool in Langenfeld (Foto: Unit GmbH)

Abbildung 23 zeigt das beschriebene Konzept einer schwimmenden Plattform, welche die Unit GmbH zusammen mit Unterstützung der Hochschule München entwickelt hat. Dabei wird Wasser durch mehrere Pumpen etwa einen Meter hochgepumpt und fließt dann über eine Rampe, welche die Welle formt. Das Wellental liegt dabei unter dem Wasserspiegel.

Bei einer ähnlichen Anlage am Pfaffensteiner Wehr wären diese Pumpen nicht notwendig, da die Höhenenergie der Staustufe verwendet werden kann. Dabei wird Wasser durch Rohre

nach unten in die schwimmende Plattform geleitet und dann wie oben beschrieben zu einer Welle geformt. Das Wasser wird anschließend schnell im Unterwasser abgebremst und fließt dann gemächlich weiter. Die Wellenkonstruktion muss so konstruiert werden, dass die Strömung sich nicht negativ auf die Sohle und die Sedimente auswirkt.

Der Rumpf der Plattform würde strömungsgünstig gestaltet, so dass sie sich wie ein Schiffsrumpf am Anleger verhält.

Die schwimmende Plattform ist hochwassersicher, da sie mit dem Wasserstand aufschwimmt. Die Verankerung ist für den minimalen und maximalen Wasserstand zu dimensionieren.

Das Pfaffensteiner Wehr erzeugt einen Höhenunterschied von etwa 5 m zwischen Ober- und Unterwasser. Der Pegel ist nach Planfeststellungsbeschluss auf 332,5 m ü. NHN festgelegt und darf nur $\pm 5-6$ cm abweichen. Die Regulierung erfolgt dabei durch Uniper. Bei einer Ausleitung aus dem Oberwasser, muss dies beachtet werden.

Für eine ausreichend große Welle müssten mindestens $10 \text{ m}^3/\text{s}$ in die Plattform geleitet werden. An etwa 50 % der Tage im Jahr müsste mit der Uniper Kraftwerke GmbH abgesprochen werden, ob abhängig vom Gesamtdurchfluss der Donau ein Abfluss von ca. $10 \text{ m}^3/\text{s}$ durch die Plattform geleitet werden könnte (anstatt durch das Kraftwerk). Dieser Durchfluss müsste dann entgeltlich kompensiert werden.

Tabelle 10: Unterschreitungstage des Gesamtabflusses sowie des Abflusses im Nordarm am Pfaffensteiner Wehr

Abfluss gesamte Donau (m^3/s)	Abfluss im Nordarm gemäß Bescheid der Stadt Regensburg vom 23.02.1989	Unterschreitungstage in den letzten 70 Jahren in Prozent
100	25	0
200	25	9,0
275	25	30,3
300	50	38,0
330	80	46,6
400	80	63,1
500	80	78,8
525	80	81,9
600	105	88,6
700	135	93,9
800	165	96,7
900	195	98,3
1000	225	99,4

Laut der Abflussverteilung gemäß dem Bescheid der Stadt Regensburg vom 23.02.1989, wird versucht konstante $25 \text{ m}^3/\text{s}$ durch das Triebwerk in den Nordarm zu leiten. Erst ab einem Gesamtabfluss in der Donau (Abfluss Oberndorf Donau + Heitzenhofen Naab) von ca.

Surfbare Flusswelle Regensburg

Machbarkeitsstudie

Dominik Hochhäusler/Robert Meier-Staude/2022/2023

275 m³/s werden die restlichen 55 m³/s in den Nordarm durchgelassen (siehe Tabelle 10). Sobald das maximale Durchflussvermögen des gesamten Kraftwerks von 320 m³/s erreicht ist, fließt Wasser durch die Wehrtore des Pfaffensteiner Wehres.

An 43,6 % der Tage in den letzten 70 Jahren wurde ein Gesamtdurchfluss der Donau von 320 m³/s unterschritten. Dies bedeutet, dass an ca. 56,4 % der Tage in den letzten 70 Jahre mehr Wasser vorhanden war, als für den Gesamtausbau des Kraftwerks benötigt wird. Zu dieser Zeit kann Wasser ohne Interessenskonflikt mit dem Kraftwerk für eine Welle benutzt werden. Hierfür sind mindestens 10 m³/s notwendig, welche an ca. 53,4 % der Tage in der letzten 70 Jahren verfügbar waren.

Das Triebwerk im Nordarm erzeugt bei einem Durchfluss von 80 m³/s eine elektrische Gesamtleistung von 2,25 MW. Werden bei geringem Wasserdargebot in der Donau 10 m³/s für die Welle ausgeleitet, entspricht dies einem Verlust an elektrischer Leistung von 281,25 kW.

Für eine kWh kommuniziert die Regensburger Energie- und Wasserversorgung AG & Co KG (REWAG) für 2023 ein Preis von 36,57 Ct/kWh brutto für Haushalte und Landwirtschaft. Die Stadt Regensburg besitzt zu 64,52 % die REWAG und ist kein Privathaushalt, weshalb für die Stadt Regensburg von ca. 10 Ct/kWh (mehr als der alte Preis für Privathaushalte von 2022) für 2023 ausgegangen wird. Eine Welle, welche mit ca. 10 m³/s betrieben wird, bedeutet also zeitweise Einbußen in der Größenordnung von 10 ct/kWh * 280 kW = 28 €/h bis 20 ct/kWh * 280 kW = 56 €/h, wenn die Donau wenig Wasser führt.

Tabelle 11 zeigt die geschätzten Investitions- (Capex) und Betriebskosten (Opex) für diesen Standort.

Tabelle 11: Kostenschätzung für Investition (Capex) und Betrieb (Opex) am Standort 2b

Kostenstelle	Kosten	
Capex (Material, Bau, Genehmigung, ...)	2 Mio. €	
Opex	Wartung:	5000 €/a
	Verluste im Kraftwerk:	Betrieb an 8 h pro Tag bei Niedrigwasser: ca. 224 €/d – 448 €/d*
*an über 50 % der Tage im Jahr fallen diese Kosten nicht an, da die Donau genügend Wasser führt.		

Verkehrs-, Versorgungs- und Entsorgungsanlage

Es wird eine durchschnittliche Anzahl von ca. 20 bis 30 Nutzern der Welle pro Stunde erwartet. Mit den Nutzern kommen Freunde und Familie, sowie Passanten. Selbst wenn alle davon mit dem Auto anreisen, dürfte diese Menge die örtlichen Ressourcen nicht überfordern.

Es wird – wie in München – mit einer überwiegenden Anreise lokaler und überregionaler Besucher mit dem ÖPNV, dem Fahrrad oder zu Fuß gerechnet. Die Nutzer benötigen lediglich einen Rucksack für Anzug und Handtuch sowie ein Surfbrett, welches sie unter den Arm nehmen können. Die typischen Flusswellen-Surfboards sind unter 150 cm lang und wiegen weniger als 3 Kilo und können somit ohne großen Aufwand transportiert werden.

Öffentliche Parkplätze am Dultplatz liegen in fußläufiger Entfernung. Auch bei einem Event an der Regensburger Welle werden die Parkplätze in Verbindung mit den weiteren üblichen Anreisemöglichkeiten als ausreichend eingeschätzt.

Die Verweildauer der Nutzer der Welle beträgt im Durchschnitt 1-2 Stunden. In der Regel verzichten die Surfer weitestgehend auf WC-Besuche, da Neoprenanzüge schwer an- und auszuziehen sind. Dennoch befinden sich auch öffentliche WC-Einrichtungen in fußläufiger Entfernung auf dem Dultplatz oder auf dem Freizeitgelände am Regen. Eine Errichtung von WC-Anlagen wird nicht als notwendig angesehen.

Für Surfer sind keine Umkleiden erforderlich. Surfer sind es von nahezu allen Spots der Welt gewohnt, sich unter einem Handtuch umzuziehen oder direkt mit einem Anzug anzukommen. In München ist dies auch im Winter der Normalfall. Eine Belästigung oder Beeinträchtigung Unbeteiligter ist in München nicht der Fall. Dort befindet sich der Standort direkt im Zentrum der Stadt, neben dem Haus der Kunst.

Da Wassersportler die Natur für ihre Freizeitaktivitäten benutzen, sind sie dieser meist sehr verbunden. Abfall und sonstiges wird meist ordnungsgemäß entsorgt. In München kümmern sich sogar die Surfer selbst darum, dass Mülleimer in der Nähe der Welle stehen. Diese werden meist von zuschauenden Touristen und Passanten verwendet.

Einfluss auf die limnologischen Verhältnisse

Der Nordarm unterhalb des Wehres ist wichtiger Laich- und Aufwuchs-Platz für die Donau. Er ist für Kieslaicher von hoher Bedeutung, da diese Bereiche zu den wenigen nicht staugeregelten Donauabschnitten zählen. Der Donaunordarm ist zwar als Laichgebiet für Kieslaicher von hoher Bedeutung, er wird in den Sommermonaten jedoch durch die stark schwankenden Wasserstände beeinträchtigt.

Es gilt das Verschlechterungsverbot für die Durchgängigkeit. Die Durchgängigkeit der Donau durch das Pfaffensteiner Wehr ist für wandernde Fischarten unterbrochen und müsste durch eine technische Fischaufstiegshilfe aufgrund der Lockströmung am Kraftwerkshaus realisiert werden. Die Steinschüttungen nach Kraftwerk und vor dem renaturierten Bereich sollen erhalten bleiben.

Eine schwimmende Plattform würde die Durchgängigkeit nicht negativ beeinflussen. Ein Konzept für eine Verbesserung der Durchgängigkeit könnte im Zuge der Wellenplanung mit entworfen werden.

Das Weißwasser im Nachlauf der Welle erhöht den Sauerstoffeintrag in den Nordarm signifikant. Die Wasserqualität für Fische und andere Lebewesen wird dadurch verbessert.

6.2 Standort 7: Piehmühler Wehr

Eine Welle am Piehmühler Wehr könnte mit dem geringsten finanziellen Aufwand gebaut werden.



Abbildung 24: Visualisierung einer möglichen Umsetzung am Piehmühler Wehr (Blick in Richtung Zeitlarn/Regensburg)

Ein Konzept für diesen Standort könnte folgendermaßen aussehen: Die Wehrkrone wird über einer Länge von 12 m bis 15 m um circa 0,3 m abgesenkt. In diesem Bereich kann dann mit einer geeigneten Vorrichtung geregelt werden, wieviel Wasser abfließt. Das Wasser fließt über eine einfache Stahl- und Holz-Konstruktion, an deren Ende die Welle steht (siehe Abbildung 24). Das überschüssige Wasser fließt über das Bogenwehr ab, welches mit einer Mindestwassermenge weiterhin konstant überspült wird. Ein ähnliches Konzept konnte in Annecy, Frankreich bei einer Staustufe realisiert werden (siehe Abbildung 25). Der Durchfluss durch die Wehröffnung wird dort manuell eingestellt (ohne zusätzliche elektrische oder sonstige Infrastruktur), was auch für das Piehmühler Wehr die Empfehlung wäre.



Abbildung 25: Die Welle in Ancey wurde mit minimalem Eingriff in den Fluss gebaut (Foto: ledauphine.com)

Der Mittlere Abfluss am Wehr Pielmühle beträgt circa $MQ = 36,8 \text{ m}^3/\text{s}$. Dies kann anhand der Messstelle Marienthal kurz über der Staustufe abgeschätzt werden (Bayerisches Landesamt für Umwelt, 2022), da nach dieser Messstelle keine größeren Zuflüsse existieren. In den letzten 70 Jahren wurde nur an 25,7 % der Tage der Wert von $20 \text{ m}^3/\text{s}$ unterschritten. Die Welle benötigt mindestens $10 \text{ m}^3/\text{s}$. Dieser Durchfluss wurde nur an 1,2 % der Tage in den letzten 70 Jahren unterschritten. Besteht Niedrigwasser kann die Konstruktion so eingestellt werden, dass die gesamte Wehr weiterhin überspült wird und die Welle abgeschaltet wird oder nur in kleinem Maße benutzt werden kann. Es muss dafür gesorgt werden, dass der Staupiegel erhalten bleibt, das Umgehungsgerinne ausreichend durchflossen wird und der Borsten-Fisch-Pass mit ausreichend Wasser versorgt wird. Das aktuelle Abflussverhalten soll, wie im Bayerischen Wassergesetz (BayWG) vorgeschrieben, nicht wesentlich verändert werden.

Bei höherem Durchfluss wird so die Lebensgefahr des Wehrs entschärft, da sich keine gefährliche Weißwasserwalze bildet. Bei Hochwasser kann die Welle abgeschaltet werden und die Konstruktion wird flach auf den Boden abgelegt. Somit wird die Hochwassersituation nicht verschlechtert, sondern der Aufstau wird durch die Wehröffnung reguliert.

Schon 2012 wurde am Pielmühler Wehr ein Wellenkonzept parallel zum Kraftwerk vorgeschlagen. Dabei war jedoch geplant, nur das restliche Wasser des Kraftwerks, welches $40 \text{ m}^3/\text{s}$ in Anspruch nehmen würde, zu verwenden. Aufgrund des geringen Abflusses musste eine aufwändigere Lösung entwickelt werden, welche die aktuelle

Strömungssituation stark verändern würde. Es wäre ein erneuter Aufstau nach dem Wehr nötig gewesen, um das Wasser gesammelt (mind. 13 m³/s) über die Wellenkonstruktion zu leiten. Der Bau hätte etwa 750.000 € gekostet und die Welle wäre nur selten surfbar gewesen, da der Regen selten 50 m³/s führt.

Aktuell befindet sich das Kraftwerk Pielmühle noch im Genehmigungsverfahren. Sollte dieses nicht genehmigt werden könnte das aktuelle Konzept vorgestellt werden. Dieses Konzept beinhaltet

- eine Entschärfung der aktuell lebensgefährlichen Situation bei höherem Durchfluss,
- einen erhöhten Lufteintrag in das Unterwasser,
- optionale Integration einer Fischtreppe (ermöglicht Fischaufstieg auch für schwächere Fische direkt neben der Lockströmung, welche bei dem aktuellen Umgehungsgerinne nicht der Fall ist),
- geringe Änderung der Strömungssituation,
- Nutzung der vorhandenen Infrastruktur als Naturfreizeitgelände.

Tabelle 12: Kostenschätzung für Investition (Capex) und Betrieb (Opex) am Standort 7

Kostenstelle	Kosten
Capex (Material, Bau, Genehmigung, ...)	450.000 €
Opex	Wartung: < 3000 €/a

Verkehrs-, Versorgungs- und Entsorgungsanlage

Am Pielmühler Wehr gibt es noch keinen richtigen Zugang vom linken Ufer aus, zudem gibt es keine Parkplätze. Der Zugang ist jedoch über die rechte Uferseite möglich und öffentliche Parkplätzen an der Autobahn bei Pielmühle sind mit weniger als drei Minuten fußläufiger Entfernung vorhanden. Auch bei einem Event an der Regensburger Welle werden die Parkplätze in Verbindung mit den weiteren üblichen Anreisemöglichkeiten als ausreichend eingeschätzt.

Es befinden sich öffentliche WC-Einrichtungen in fußläufiger Entfernung auf dem Freizeitgelände am Regen. Eine Errichtung von WC-Anlagen wird nicht als notwendig angesehen.

Einfluss auf die limnologischen Verhältnisse

Der Flussabschnitt unterhalb der des Pielmühler Wehrs ist ein wichtiges Laich- und Aufwuchsgewässer für das Flussgebiet Regen. Er ist von besonderer Bedeutung für die Erhaltung und Entwicklung intakter Fischbestände sowie Makrozoobenthos. Es gilt das Verschlechterungsverbot für die Durchgängigkeit. Der gesamte Regen und die Donau bis zur Autobahnbrücke ist FFH-Gebiet und betrifft somit den Standort am Pielmühler Wehr (siehe Abbildung 26).



Abbildung 26: Flora-Fauna-Habitat-Gebiete rund um Regensburg (ifu.bayern.de)

Der Kanupass am Wehr Pielmühle ist aufgrund der hohen Fließgeschwindigkeit als Fischaufstieg nur bedingt geeignet und könnte im Zuge einer Flusswelle wieder in Stand gesetzt werden. Ein Fischaufstieg könnte – wie oben bereits erwähnt – auch in das Konzept einer Welle integriert werden, indem direkt neben der Lockströmung eine Fischtreppe gebaut wird. Bei dem aktuellen Umgehungsgerinne und dem Fischkanupass besitzen die Fische aktuell keine klare Orientierung durch eine Lockströmung.

Am Wehr Pielmühle ist aufgrund der Erfahrung mit halbnatürlichen Flusswellen und der nur leichten Veränderung der gegebenen Situation davon auszugehen, dass durch das Vorhaben keine Beeinträchtigungen insbesondere für die im FFH-Gebiet wie auch nach EU-WRRL relevanten und geschützten Fischarten wie auch anderer Gewässerlebewesen (z.B. Muscheln, Krebse, ...) gegeben sind. Im Zusammenhang mit dem bestehenden Freizeitgelände am Regen hat der Bereich ohnehin schon eine hohe Bedeutung für Freizeit und Erholung. Eine detaillierte Untersuchung der Beeinträchtigung kann durch amtlich-fachliche Experten durchgeführt werden.

Die Autoren gehen davon aus, dass die Situation für Flora und Fauna und im speziellen für die Fische durch den Bau einer Welle (inklusive flankierender Maßnahmen) verbessert werden kann.

6.3 Mögliche Standorte mit einer Pumpenlösung

Eine Lösung, wie in Abbildung 23 dargestellt, könnte an mehreren Standorten mit geringem Gefälle angedacht werden. Als Beispiele seien der Standort 4: Brandner Kanal nach dem Sorat Hotel oder der geplante Yachthafen in Weichs (Vorschlag von Herrn Dr. Paukner/DoNaReA e.V.) genannt.

Im Brandnerkanal kurz nach dem Sorat Hotel sind die harten Kriterien zwar nicht erfüllt, doch könnte hier mit der Hilfe von elektrisch betriebenen Pumpen eine Welle erzeugt werden. Es würden ca. 10 m³/s aus dem Donau Südarml in den Brandnerkanal gepumpt werden, in dem dann die Welle in einem eingebauten Abschnitt generiert wird. Diese Maßnahme würde den gesamten Kanalabschnitt beleben, da das Wasser dieses Kanals bei Niedrigwasser sonst steht und somit für Lebewesen als auch für Menschen nicht attraktiv ist. Zeitweise verbreitet dieser in den Sommermonaten einen unangenehmen Geruch. Bei ausreichender Belüftung (durch die Welle) und Durchströmung könnte dieses Naherholungsgebiet deutlich aufgewertet werden.

Neben der Belebung des Flussabschnitts, bietet sich der Standort an, da die Lage optimal in die Stadt integriert ist. Zudem ist der Brandnerkanal keine Schifffahrtsstraße und vereinfacht somit das Genehmigungsverfahren.

Die Anwohnersituation ist zu berücksichtigen. Für das Hotel würde eine Welle eher einen Mehrwert darstellen. Für ein Ausleiten von 10 m³/s muss eine Genehmigung eingeholt werden und es muss mit der WSV die genauen Bedingungen abgeklärt werden.

Im geplanten Yachthafen in Weichs könnte der UNIT Surf Pool ohne Modifikationen eingesetzt werden.

Eine solche Lösung benötigt eine elektrische Leistung von circa 350 kW. Es entstehen Betriebskosten von mindestens 35 €/h (abhängig vom Strompreis). Tabelle 13 zeigt eine Schätzung der zu erwartenden Kosten.

Tabelle 13: Kostenschätzung für Investition (Capex) und Betrieb (Opex) für eine Lösung mit Pumpenunterstützung. Mögliche Standorte sind beispielsweise der Brandner Kanal oder der neue Yachthafen/Weichs

Kostenstelle	Kosten	
Capex (Material, Bau, Genehmigung, ...)	3 Mio. €	
Opex	Wartung:	5000 €/a
	Stromkosten:	Betrieb an 8 h pro Tag: ~300 €/d bis 600 €/d (Annahme: 10 ct/kWh bis 20 ct/kWh)

6.4 Immissionsgutachten

Hinsichtlich der auf die Standorte des geplanten Vorhabens einwirkenden Immissionen und der zukünftig von ihm ausgehenden Emissionen ist das Bundesimmissionsschutzgesetz (BImSchG) mit den entsprechenden Verordnungen und Richtlinien (z. B. TA Lärm, 16. BImSchV, DIN 18005) zu berücksichtigen.

Die Welle in Regensburg ist mit einer Geräuschestehung verbunden. Einerseits durch die Äußerungen und Rufe der Sportler, andererseits jedoch überwiegend durch das Rauschen des Wassers an der Welle, welches auch ohne Einbau an diesen Standorten vorhanden ist. Der Geräuschpegel des Wassers wird durch die Welle am Pielmühler Wehr nicht erhöht und im Nordarm womöglich nicht merklich. Beim Standort am Sorat Hotel muss geklärt werden, ob der erhöhte Geräuschpegel als störend bewertet wird.

In der Machbarkeitsuntersuchung an der Neckarwelle wurde geprüft, ob eine solche Sportanlage, wie sie auch in Regensburg geplant ist, aus Sicht des Lärmschutzes im Neckar möglich ist (Neckarwelle e.V., 2018). Die SoundPLAN GmbH kam in ihrer schalltechnischen Untersuchung zu folgenden Erkenntnissen:

„Ein Betrieb der Neckarwelle ist im Tageszeitraum unproblematisch, da die Immissionsrichtwerte der 18. BImSchV um mehr als 10 dB(A) unterschritten werden. Dies gilt unabhängig davon, ob man die an der Welle entstehenden Strömungsgeräusche außen vorlässt oder mitberücksichtigt.“

Ein Nachtbetrieb der Neckarwelle war damals nicht vorgesehen, wurde jedoch aus schalltechnischer Sicht als zulässig bewertet.

Für das Schutzgut Mensch sind in Regensburg vor allem bau- und betriebsbedingte Auswirkungen in Form von Lärmimmissionen zu erwarten. Betriebsbedingte Schallemissionen und Belästigungen durch die Nutzer sind nur in sehr geringem Umfang zu erwarten. Die baubedingte Belastung (Baustellenverkehr, Bautätigkeit etc.) ist zeitlich stark begrenzt.

6.5 Betreiberkonzept

Ein geeignetes Betreiberkonzept muss verschiedenen Anforderungen gerecht werden:

1. Sicherheit der Nutzer der Welle Regensburg (Haftung)
2. Sicherstellung der laufenden Betriebskosten wie z.B. Wartung der Wellenanlage, Versicherungen etc.
3. Verwaltungsaufwand durch das Betreiberkonzept möglichst geringhalten.

Der Betreiber der Welle kann sie Stadt Regensburg oder ein eingetragener Verein sein, welcher eine Haftpflichtversicherung abschließt oder sich über die übliche Versicherung von öffentlichen Sportplätzen absichert. Die Stadt oder der Verein ist dann in der Verantwortung und hat die Verkehrssicherungspflicht. Surfen ist hier unentgeltlich und die Benutzung der Welle Regensburg erfolgt auf eigene Gefahr. Kinder und Jugendliche unter 14 Jahren dürfen nur in Begleitung einer Aufsichtsperson surfen.

In der Betreibervereinbarung der *Landeshauptstadt München* mit der *Interessengemeinschaft Surfen in München e.V.* wurden ähnliche Punkte zum Betreiberkonzept festgelegt. Dieses Konzept kann als Vorlage für einen Betrieb in Regensburg dienen.

Eine weitere Option wäre der privatwirtschaftliche Betrieb der Welle als eine zahlungspflichtige Freizeitaktivität.

Aus Sicht der Autoren sollte das Surfen in Regensburg, soweit möglich, keinen elitäreren Sport darstellen, sondern inklusiv für alle möglich gemacht werden. So kann der positive Einfluss des Surfens auf die Stadtgesellschaft voll entfaltet werden.

Die Finanzierung der Kosten (Bau, Wartung etc.) kann durch Crowdfunding und Sponsoren erfolgen. Die weiteren Unterhaltungskosten könnten durch Mitgliedsbeiträge eines Vereins gedeckt werden.

7 Zusammenfassung

Wie nach dem Bayerischen Wassergesetz (BayWG) gefordert, muss die Welle so generiert und das Gewässer so ausgebaut werden, „dass natürliche Rückhalteflächen erhalten bleiben, das natürliche Abflussverhalten nicht wesentlich verändert wird, naturraumtypische Lebensgemeinschaften bewahrt und sonstige nachteilige Veränderungen des Zustands des Gewässers vermieden oder, soweit dies nicht möglich ist, ausgeglichen werden“. An allen Standorten muss die Konstruktion zur Wellenerzeugung hochwassersicher gestaltet werden, sodass mit keiner Verschlechterung der Situation zu rechnen ist. Der Lebensraum von Fischen soll nicht negativ beeinflusst werden.

Grundsätzlich sind Surfer:innen naturverbundene Menschen, die ihren Planeten und alle Lebewesen schätzen und respektieren. Von daher fühlen sie sich diesen Vorgaben mehr als verpflichtet. Eine surfbare Welle in einem Fließgewässer lässt sich an den untersuchten Standorten in jedem Fall so gestalten, dass die Situation für alle Gewässernutzer sowie Flora und Fauna verbessert wird.

Nach einer Analyse der Gelegenheiten und einer Ortsbegehung wurden sieben mögliche Standorte in der Donau und im Regen näher untersucht und im Rahmen einer Nutzwertanalyse bewertet. Es werden Kriterien der folgenden Kategorien bewertet:

- Allgemeine Rahmenbedingungen bezüglich Naturschutz, Anwohner, Sicherheit und Konkurrenz zu anderen Gewässernutzern
- Harte Kriterien hinsichtlich einer möglichen Wellengenerierung
- Weiche Kriterien, die bestimmen wie aufwändig die Erzeugung einer guten Welle sein würde

Es kristallisieren sich zwei klare Favoriten heraus, die die gestellten Anforderungen am besten erfüllen:

- Standort 2b: Nordarm - Schwimmende Plattform
- Standort 7: Pielmühler Wehr

Für beide Standorte wurde ein Lösungskonzept vorgestellt. Es wurden sowohl die Kosten grob geschätzt, als auch die Umweltaspekte beleuchtet.

Ein weiteres Konzept zu einer mit elektrischen Pumpen betriebenen Lösung wurde beschrieben. Diese Lösung könnte im Brandner Kanal/Sorat Hotel und im geplanten Yachthafen in Weichs zum Einsatz kommen.

Zu ergänzen ist, dass eine schwimmende Plattform (Standort 2b) theoretisch auch im Südark unterhalb des Pfaffensteiner Wehres installiert werden könnte.

Die Standorte mit der besten Öffentlichkeitswirksamkeit für die Stadt Regensburg sind der stadtnahe Nordarm (Standort 2) unterhalb des Kraftwerks oder der Standort im Brandner Kanal (Standort 4).

Eine schwimmende Plattform zur Generierung einer Welle ist mit verhältnismäßig wenig Aufwand und unter Beachtung der naturschutzrechtlichen Belange möglich. Das Konzept muss vor allem mit Uniper, dem WSV und den Naturschutzbehörden abgestimmt werden.

Eine Welle am Pielmühler Wehr wäre mit geringerem Aufwand verbunden. Hier befindet sich aktuell ein Kraftwerk im Genehmigungsverfahren. Sollte dieses Projekt nicht realisiert werden, könnte unter Beweis des geringen Eingriffs in die Natur und der Beachtung des FFH-Gebiets, eine Welle umgesetzt werden.

Die optimale Lage des Brandnerkanals macht den dortigen Standort sehr attraktiv. Zudem könnte durch das künstliche Erhöhen des Abflusses der Seitenarm belebt werden und für Menschen und andere Lebewesen als Lebensraum und Naherholungsgebiet aufgewertet werden. Die Lösung wäre mit einem elektrischen Energieverbrauch von circa 350 kW verbunden (während die Welle in Betrieb ist).

Aus Sicht der Autoren sind die nächsten Schritte für den Bau einer stehenden Welle die Folgenden:

- 1) Intensive Diskussion der Machbarkeitsstudie im Stadtrat, mit den Gemeinden, Gewässernutzern und -anliegern sowie den Fachstellen (Behörden, Verbände).
- 2) Beauftragung der Ausarbeitung eines konkreten Konzepts.
- 3) Stellen des Genehmigungsantrags inklusive aller notwendigen Gutachten.

Aus Sicht der Autoren ist eine stehende surfbare Welle ein wahrer Ort nachhaltiger Entwicklung für die Stadtgesellschaft in Regensburg:

- In jedem Fall ist es für die Natur und die Minimierung des Ressourcenverbrauches sinnvoll, wenn die Menschen in ihrer Stadt die Möglichkeit haben die Natur zu erleben und zu genießen, ohne weite Strecken mit welchem Verkehrsmittel auch immer zurückzulegen.
- Surfen ist eine attraktive Sportart. Sie ist in vielen Bereichen Quelle wirtschaftlicher Aktivität.
- Zuallererst aber erfüllt die Welle eine sozial-gesellschaftliche Funktion: In der Stadt ist sie ein Ort, an dem die Menschen (wieder) zusammenfinden: Menschen jeden Alters und Menschen jedweder Herkunft verbringen gemeinsam Zeit und sprechen miteinander. Das Surfen verbindet auf eine positive Art. Surfen verbindet nicht nur die Surfer, sondern auch die Passanten, die zufällig oder absichtlich verweilen.

8 Literaturverzeichnis

- Amandi, & Holzer. (2021). *Konzept einer surfbaren stehenden Welle für den Standort Pielmühler Wehr (Bachelorarbeit)*. Regensburg: OTH.
- Auer, S. (2011). *Umgestaltung des Wehrs Pielmühle am Regen in Bezug auf Sicherheit und Durchgängigkeit (Bachelorarbeit)*. Deggendorf: Hochschule Deggendorf.
- Bayerisches Landesamt für Umwelt. (25. 10 2022). *Datendownload*. Von www.gkd.bayern.de abgerufen
- Bayrisches Landesamt für Umwelt. (23. 11 2022). *Sedimentmanagement*. Von <https://www.lfu.bayern.de/wasser/gewaessermorphologie/sedimentmanagement/index.htm> abgerufen
- Bayrisches Landesamt für Umwelt. (2022). *UmweltAtlas*. Von https://www.umweltatlas.bayern.de/mapapps/resources/apps/lfu_naturgefahren_ftz/index.html?lang=de&statelId=f4c9e540-f048-49ac-89e5-40f048a9acaa abgerufen
- Donau-Naab-Regen-Allianz (DoNaReA) . (2020). *Donau-Naab-Regen-Allianz (DoNaReA)* . Von <https://donarea.de/> abgerufen
- Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt -Außenstelle Süd- . (2. Dezember 2013). *Daten und Fakten*. Von https://web.archive.org/web/20141129032827/http://www.wsv.de/wsd-s/wasserstrassen/bundeswasserstrassen/daten_und_fakten/index.html abgerufen
- Gückel, J. (2016). *Göttinger Tagesblatt*. Von <http://www.goettinger-tageblatt.de/Goettingen/Themen/Thema-des-Tages/Angesichts-von-Bootsrabauken-auf-der-Lahn-Sind-Fluesse-rechtsfreie-Raeume> abgerufen
- Hassing, R. (2002). *Abflussdaten Stadtwehr (Excel Tabelle)*. Kassel.
- Held, K. (27. 06 2021). *TVAktuell*. Von <https://www.tvaktuell.com/zeitlarn-toedlicher-badeunfall-am-pielmuehler-wehr-419482/> abgerufen
- HNA. (2015). *hna.de*. Von <https://www.hna.de/lokales/hann-muenden/hann-muenden-ort60343/uebergang-werra-weser-5348296.html> abgerufen
- Jegel, & Glötzel. (2016). *Studie zur praktischen Umsetzung einer surfbaren, stationären Welle an einer ausgewählten Stelle eines Flusses im Raum Regensburg (Bachelorarbeit)*. Regensburg: OTH.

- Kassel, U. (2008). *uni-kassel.de*. Von http://www.uni-kassel.de/fb14/vpuw/Download/FKP/FKP_Liste.pdf abgerufen
- Kuyten, L. (2022). *Das Pielmühler Wehr - Untersuchungen zur Deckwalzenhydraulik und zu möglichen Umbauten zur Vermeidung von tragischen Badeunfällen*. Regensburg: Ostbayerische Technische Hochschule Regensburg.
- Lagleder, M. (2013). *Die Surfwelle – eine stehende Welle für den Freizeitsport (Masterarbeit)*. Regensburg: Hochschule Regensburg.
- Landeskraftwerke Bayern GmbH. (26. 10 2022). *Neubau Kraftwerk Pielmühle*. Von <https://www.landkraftwerke.bayern/pielmuehle.htm> abgerufen
- Markt Lappersdorf. (04 2021). *Lappersdorfer Mitteilungsblatt*. Von https://www.lappersdorf.de/media/48363/mitteilungsblatt_202104.pdf abgerufen
- Neckarwelle e.V. (2018). *Machbarkeitsstudie „Neckarwelle“*. Von https://www.neckarwelle.com/wp-content/uploads/2019/03/NW_Machbarkeitsstudie__Zusammenfassung_Presse.pdf abgerufen
- Schön, A. (2016). *Peripherieplanung für eine Surfwelle in Regensburg*. Regensburg: OTH.
- Soyer, M. (2012). *Wasserkraftanlage Pielmühler Wehr*. Regensburg: RMD Consult.
- Stadt Regensburg. (26. 10 2022). *Karten Regensburg*. Von https://karten.regensburg.de/stadtplan/app.php/application/mapbender_regensburg_hw abgerufen
- Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt Donau MDK. (1991). *Anlage1_Abflussverteilung-Regensburg*. Regensburg: Stadt Regensburg.
- Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt Donau MDK. (2002). *Bezugswasserstände*. Regensburg: WSA Regensburg.
- Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt Donau MDK. (2010). *Anlage3_Wehr Regensburg Nordarm Systemskizze*. Regensburg: WSA Donau MDK.
- Wirschum. (2017). *Ökologische und soziale Revitalisierung von bestehenden Wasserkraftanlagen durch den Einbau einer stehenden Welle (Vorlesungspaper)*. München: Technische Universität München.
- Wochenblatt. (07. 07 2017). *Wochenblatt - Zeitung für alle*. Von <https://www.wochenblatt.de/archiv/bitte-nicht-schon-wieder-drei-jugendliche-ertrinken-fast-am-pielmuehler-wehr-64414> abgerufen

WSA und Stadt Regensburg, P. (20. Dezember 2017). *Wochenblatt*. Von <https://www.wochenblatt.de/archiv/loesung-fuer-die-muehleninsel-in-sicht-mauer-soll-gesichert-werden-218154#images> abgerufen

WWA und Stadt Regensburg. (2010). Hochwasserschutz Stadt Regensburg Flussraumkonzept Donau - Regen. Regensburg: TEAM 4 - LANDSCHAFTS + ORTSPLANUNG