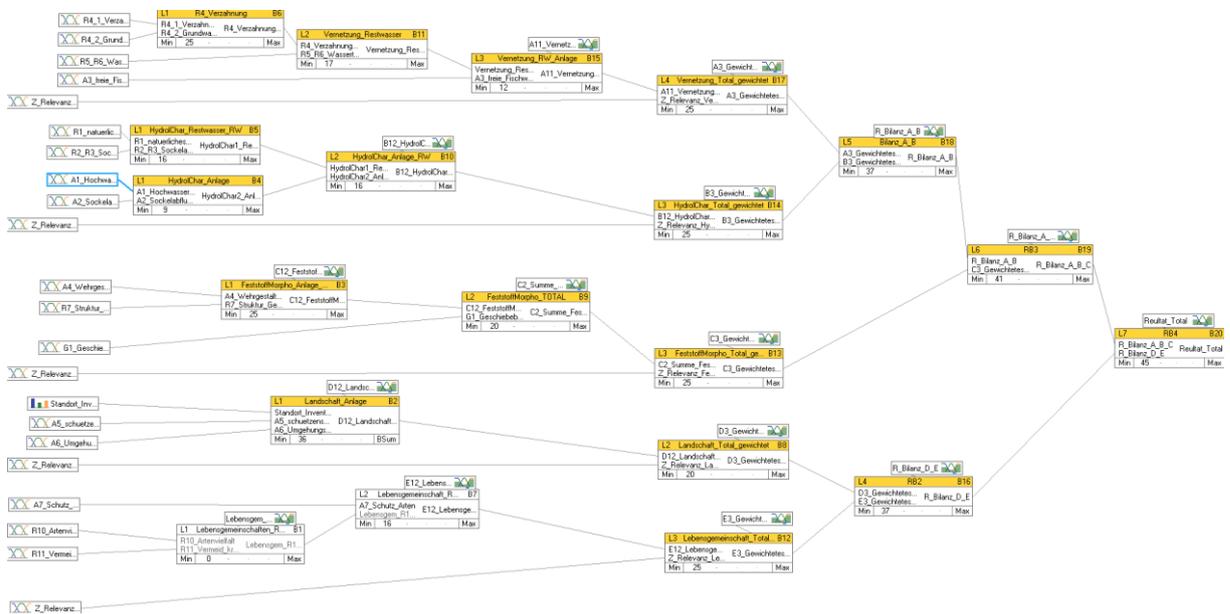




Schlussbericht Phase A, 19. Juni 2017

# Entscheidungshilfe für die ökologische Standortwahl von Schweizer Kleinwasserkraftwerken





**Datum:** 19. Juni 2017

**Ort:** Bern

Auftraggeberin:  
Bundesamt für Energie BFE  
Forschungsprogramm Wasserkraft  
CH-3003 Bern  
[www.bfe.admin.ch](http://www.bfe.admin.ch)

Auftragnehmer/in:  
Carbotech AG  
Venusstrasse 7, 4102 Binningen  
[www.carbotech.ch](http://www.carbotech.ch)

Autor/in:  
Flora Conte, Carbotech AG, [f.conte@carbotech.ch](mailto:f.conte@carbotech.ch)  
Dr. Fredy Dinkel, Projektleitung, Carbotech AG, [f.dinkel@carbotech.ch](mailto:f.dinkel@carbotech.ch)  
Cornelia Stettler, Carbotech AG, [c.stettler@carbotech.ch](mailto:c.stettler@carbotech.ch)

**BFE-Bereichsleitung:** Dr. Michael Moser, BFE, [michael.moser@bfe.admin.ch](mailto:michael.moser@bfe.admin.ch)  
**BFE-Programmleitung:** Dr. Klaus Jorde, BFE, [klaus.jorde@kjconsult.net](mailto:klaus.jorde@kjconsult.net)  
**BFE-Vertragsnummer:** SI/501287-01

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die Autoren dieses Berichts verantwortlich.

**Bundesamt für Energie BFE**

Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen; Postadresse: CH-3003 Bern  
Tel. +41 58 462 56 11 · Fax +41 58 463 25 00 · [contact@bfe.admin.ch](mailto:contact@bfe.admin.ch) · [www.bfe.admin.ch](http://www.bfe.admin.ch)



## Zusammenfassung

Die kontroverse Diskussion über Schweizer Kleinwasserkraftwerke (KWKW) zeigt eine klare Divergenz zwischen Schutz- und Nutzungsinteressen auf. Denn bei der Entscheidung über den Bau oder Umbau eines KWKW geht es, neben energetischen und wirtschaftlichen Fragen, um die lokale Ökologie und Nutzungskonflikte. Der Aufwand, um die Auswirkung eines KWKW auf das komplexe Ökosystem zu messen, ist sehr hoch. Deshalb wurde in diesem Projekt mit Hilfe der Fuzzy Set Theorie (FST) ein Entscheidungsinstrument erstellt, das mit linguistischen Aussagen von Experten einschätzen soll, ob sich die detaillierte Prüfung eines KWKW-Gesuchs lohnt. Das Tool besteht aus zwei Stufen: Zuerst wird der geplante Standort allgemein bewertet und daraus der Aufwand abgeleitet, damit die Qualität des Ökosystems erhalten werden kann. Falls sich dieser Aufwand in Grenzen hält, wird in einer 2. Stufe die geplante Anlage bewertet, in dem sie mit dem IST-Zustand verglichen wird. Ein Vergleich mit dem Zustand nach Renaturierungsmassnahmen ist ebenfalls möglich. Die Modellierung wurde anhand von existierenden Anlagen getestet und kalibriert. In der nächsten Projektphase soll das Modell verfeinert und ein benutzerfreundliches Tool öffentlich verfügbar werden.

## Résumé

Le débat controversé sur les petites centrales hydrauliques (PCH) en Suisse est dû aux divergences entre les intérêts d'exploitation et de protection. La construction ou transformation d'une PCH nécessite une prise de décision qui se base sur l'écologie locale, en plus des aspects énergétiques et économiques. Les frais pour évaluer un aspect aussi complexe que l'écosystème ne sont généralement pas proportionnels à la taille de la PCH. Dans ce projet, les auteurs utilisent donc la logique floue (Fuzzy Set Theory, FST) pour créer un instrument décisionnel qui permet d'inclure des informations qualitatives d'experts afin de pouvoir estimer s'il est recommandé d'approfondir l'évaluation d'un projet de PCH. L'outil FST inclut deux phases d'évaluation. La première phase analyse la situation du site prévu et estime les moyens nécessaires pour conserver l'état de l'écosystème. Si ces moyens semblent gérables, dans la deuxième phase, l'installation PCH prévue est comparée avec l'état actuel et d'autres scénarios tels qu'une renaturation du site. Le modèle développé a été testé sur des projets de PCH existants et calibré. Dans la prochaine étape du projet, il est prévu de raffiner le modèle et de mettre à disposition un outil facile à utiliser et distribué publiquement.

## Abstract

The controversial discussion on Swiss small hydropower plants (SHP) highlights the divergence between protection interests and claims on resource utilization. The decision on whether to build or modify a SHP needs to be based on local ecology and interests in addition to energy production and costs. Considering the means required to evaluate the complex ecological impact of an SHP are very high. This is why in this project, the authors constructed a model using the Fuzzy Set Theory (FST) that allows using linguistic/qualitative expert information in order to assess whether a more detailed evaluation of a SHP project is recommended. The decision tool consists of two steps. First, the general situation of the planned SHP site can be analysed with respect to sustainability and feasibility and the necessary means to preserve the ecosystem are estimated. If the project seems sustainable, the second step analyses the ecological impact of the SHP installation by comparing the planned situation with the present state as well as other possible states such as in case of renaturation. The model was tested on several existing SHP and calibrated. In the next project phase, it is planned to further adjust the model and implement it in a user-friendly and open-access software.



## Zusammenfassung (lange Version)

Kleinwasserkraftwerke (KWKW) werden sehr kontrovers diskutiert. Einerseits gehören Wasserkraftwerke, aus einer globalen und regionalen Perspektive betrachtet, zu den ökologischsten Energiesystemen der Strombereitstellung, und spielen daher in der Energiestrategie des Bundes eine wichtige Rolle (zum Beispiel bei der Umsetzung Klimaschutz und Atomausstieg). Andererseits sind Wasserkraftwerke auf lokaler Ebene mit Eingriffen in Ökosystemen verbunden. Mit dem Argument, dass der Nutzen geringer ist als der damit verbundene Schaden werden KWKW bis zu einer gewissen Grösse oft abgelehnt. Dabei ist zu beachten, dass die Auswirkungen vom Standort und von der Anlage abhängen. Je nach Situation und den mit dem Projekt verbundenen Massnahmen können KWKW ökologisch mehr oder weniger sinnvoll sein und bei stark verbauten Gewässern auch zu einer Verbesserung der Situation beitragen.

Der Aufwand für eine vertiefte ökologische Beurteilung der lokalen Effekte ist vergleichsweise hoch, um bei kleinen Leistungskategorien zwischen Nutzungs- und Schutzinteressen abwägen zu können. Naturschutzorganisationen und Ökologie-Experten bedauern, dass ökologische Fragen oft zu spät betrachtet werden, sodass sie erst während der Einsprache-Frist involviert werden.

Aus diesen Gründen hat die Firma Carbotech AG im Rahmen eines Forschungsprojekts die Grundlagen für ein Entscheidungsinstrument erarbeitet, das vor Planungsbeginn mit geringem Aufwand eine zuverlässige Ersteinschätzung der ökologischen Sinnhaftigkeit von KWKW geben kann (Fokus auf Bereich < 1 MW). Mögliche Nutzer des Tools sind Planungsbüros, Experten, Umweltverbände, Betreiber, Investoren, Behörden und andere betroffene Akteure.

Im Bereich der Ökologie, insbesondere der Biodiversität, reicht die verbreitete Beurteilungsmethode der Ökobilanz nicht aus, um die lokalen Auswirkungen ausreichend zu berücksichtigen. Ebenso werden die Dimensionen Gesellschaft und Wirtschaft nicht in die Ökobilanz einbezogen. Diese Aspekte sind komplex und bei KWKW sehr relevant. Damit diese unterschiedlichen und teilweise sehr komplexen Aspekte im Entscheidungstool berücksichtigt werden können, wurde für den Aufbau des Instruments die Fuzzy Set Theorie (FST) angewendet. Die FST ermöglicht es, sprachliche Aussagen mathematisch zu erfassen, und erzielt bei komplexen Systemen die notwendige Effizienz, indem sie sich auf Relevanzen beschränkt. In diesem Projekt wurde ein Modell aufgebaut, welches die Aussagen von Akteuren und Experten im Bereich KWKW mit bestehendem Wissen und Methoden verbindet.

Das Entscheidungsinstrument deckt zwei Fragestellungen ab:

- Stufe 1 – Bewertung Standort:  
Erste Einschätzung des ökologischen und gesellschaftlichen Werts des Gewässerabschnitts und des entsprechenden Aufwands für die ökologische Realisierung eines KWKW. Dies erfolgt typischerweise in der Phase der Projektidentifikation (Machbarkeit- und Variantenstudie). Der Referenzzustand ist der IST-Zustand oder der angestrebte Zustand im Fall einer bereits geplanten Revitalisierung (Priorität 1) oder Sanierung. Es werden die Schutzzonen und -gebiete von nationaler und regionaler Bedeutung, der ökologische Wert des Gewässers und Landschaftsraums, die ökonomischen Risiken und die Nutzungskonflikte evaluiert.
- Stufe 2 – Bewertung Anlage:  
Erste ökologische Beurteilung der geplanten Anlage. Dies erfolgt typischerweise in der Vorprojekt-Phase. Die Kriterien der Beurteilung basieren auf der Greenhydro-Methode und wurden für KWKW vereinfacht. Der Referenzzustand für Greenhydro-Kriterien ist der natürliche Zustand. Für die Beurteilung wird der IST-Zustand mit dem projektierten Zustand der Anlage



verglichen und die relative Veränderung des Zustandes für die Bewertung verwendet. Bei einer anstehenden Renaturierung (Revitalisierung oder andere Massnahmen zur Verbesserung der ökologischen Situation eines Gewässerstandortes) wird ergänzend zum IST-Zustand ein Vergleich mit der Renaturierung erstellt.

Die Methode und das Vorgehen für die Bewertung wurden in Zusammenarbeit mit Experten unterschiedlicher Fachgebiete diskutiert und daraus ein Tool zur Bewertung entwickelt. Der Einsatz der FST-Methode erwies sich dabei als eine geeignete Wahl für die komplexe Thematik der ökologischen Bewertung von KWKW. Im Rahmen eines Testlaufes wurden beide Beurteilungsstufen anhand von bekannten, existierenden oder geplanten Anlagen getestet. Dabei wurden auch Best- und Worst-case Szenarien getestet, und in Zusammenarbeit mit Experten das Tool kalibriert. Die Resultate dieser Testreihe zeigen auf der ersten Stufe der Standort Bewertung wo die kritischen Aspekte liegen. Die Resultate der Bewertung auf der zweiten Stufe der Anlage zeigen, welche mit dem Bau verbundenen Auswirkungen einen Einfluss auf den Zustand des Gewässers und den Erfüllungsgrad der Greenhydro-Kriterien haben. Dies kann auch eine Verbesserung gegenüber dem IST-Zustand sein, im Falle einer Wiederherstellung der Fischgängigkeit bei einer bestehenden Verbauung.

Von Seite der konsultierten Experten wurden die Test-Ergebnisse als plausibel eingeschätzt, und die zweistufige Beurteilung als sinnvoll für den Entscheidungsprozess erachtet. Die Bilanzen der Standortbewertung und der Anlagenbewertung stimmen mit der Unterteilung der Experten in kritische und weniger kritische Anlagen überein. Bei der Bewertung der Anlagen in der Stufe 2 waren die Unterschiede zwischen den getesteten Anlagen weniger signifikant als erwartet. Eine wesentliche Ursache besteht darin, dass vor allem neuere Anlagen untersucht wurden, und diese mit den heute bestehenden gesetzlichen Regelungen bereits diverse Greenhydro-Kriterien erfüllen müssen. Ergänzende Tests mit problematischen Altanlagen oder abgewiesenen Anlagen sind vorgesehen für die weitere Kalibrierung des Tools in der zweiten Phase des Projektes.

Neben der Unterstützung einer ökologischen Standortwahl für KWKW wird mit dem Einsatz des Tools folgender Nutzen angestrebt: Die Ergebnisse der Beurteilung der ersten Stufe sollen Hinweise auf die Aspekte geben, die bei einer Weiterentwicklung und der detaillierten Prüfung eines Gesuchs besonders wichtig sind. Die Ergebnisse der zweiten Stufe sollen kritische Auswirkungen der Anlage aufzeigen und damit auch Rückschlüsse für mögliche Optimierungen der Anlage oder für Variantenvergleiche erlauben. Die Resultate haben keinen rechtsgültigen Charakter und ersetzen keine Zertifizierung oder eine Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP).

Mit dem entwickelten Entscheidungsinstrument können mit wenig Aufwand verschiedene Szenarien beurteilt werden. Erwartet wird ein Aufwand von 1-2 Tagen plus ein Ortsbesuch (falls notwendig), abhängig vom Stand Kenntnisse Gewässer und Anlage. Da sich die Schweizer Wasserkraft an der Schnittstelle zwischen Themen wie Gewässer-Revitalisierung, Sanierungen bestehender KWKW sowie den Energiestrategien von Bund und Kantonen befindet, kann dieses Tool auch auf einer breiteren Diskussions-ebene eine Unterstützung bieten.

In der folgenden 2. Phase des Projekts soll das Instrument vertiefter geprüft und verfeinert werden. Der Endzustand der Modellierung soll als eine benutzerfreundliche und frei zugängliche Anwendung gestaltet werden. Für die praktische Anwendung des Tools werden die möglichen Akteure in die Nutzung des Instruments eingeführt.



## Inhaltsverzeichnis

<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>3</b>
<b>Résumé</b> .....	<b>3</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>3</b>
<b>Zusammenfassung (lange Version)</b> .....	<b>4</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b> .....	<b>8</b>
<b>1 Ausgangslage</b> .....	<b>9</b>
<b>2 Ziel der Arbeit</b> .....	<b>9</b>
<b>3 Grundlagen – Randbedingungen</b> .....	<b>10</b>
3.1 Gesetzliche Grundlagen.....	10
3.2 Beurteilungsverfahren und Optimierungspotenzial .....	11
3.3 Verwendete Beurteilungsgrundlagen .....	13
3.4 Einsatz und Grenzen des Entscheidungsinstrumentes .....	15
<b>4 Methodenwahl und Vorgehen Umsetzung</b> .....	<b>16</b>
4.1 Ökologische Bewertungen von KWKW.....	16
4.2 Die Methode der Fuzzy Set Theorie .....	17
<b>5 Fuzzy Set Modell, Ergebnisse/Erkenntnisse</b> .....	<b>18</b>
5.1 Referenzzustand und Skala .....	18
5.1.1 Räumliche Skala .....	18
5.1.2 Referenzzustand .....	18
5.2 Aufbau Fuzzy Modelle.....	19
5.3 Beschreibung der Kriterien Stufe 1 „Bewertung Standort“ .....	19
5.4 Beschreibung der Kriterien Stufe 2 „Bewertung Anlage“ .....	23
5.5 Stufe 1 – Testergebnisse Beurteilung Standort .....	25
5.6 Stufe 2 - Testergebnisse Beurteilung Anlagen .....	28
<b>6 Diskussion/Würdigung der Ergebnisse</b> .....	<b>32</b>
<b>7 Schlussfolgerungen zum Einsatz der FST</b> .....	<b>33</b>
<b>8 Ausblick und Umsetzung Phase B</b> .....	<b>34</b>
<b>9 Referenzen</b> .....	<b>35</b>



<b>Anhang</b> .....	<b>36</b>
A Beschreibung FST Modell: Standort Bewertung Stufe 1 .....	36
A1 Systemstruktur FST Modell - Stufe 1 .....	36
A2 Definition Variablen „Eingänge“ – Eingabe Stufe 1 .....	38
A3 Definition Variablen „Ausgänge“ - Ergebnis Stufe 1 .....	39
A4 Zugehörigkeitsfunktion der Variablen „Eingänge“ – Stufe 1 .....	40
A5 Zugehörigkeitsfunktion der Variablen „Ausgänge“ – Stufe 1 .....	43
A6 Regelblöcke - Stufe 1 .....	45
B Beschreibung FST Modell: Anlagebewertung Stufe 2, GreenHydro basiert .....	46
B1 Systemstruktur FST Modell - Stufe 2 .....	46
B2 Definition der Variablen „Eingänge“ – Eingabe Stufe 2 .....	48
B3 Definition der Variablen „Ausgänge“ – Ergebnis Stufe 2 .....	49
B4 Verwendete Zwischenvariablen und Gruppierung „Eingänge“ .....	52
B5 Zugehörigkeitsfunktionen Variablen – Stufe 2 .....	54
B6 Regelblöcke – Stufe 2 .....	64



## Abkürzungsverzeichnis

ARE:	Bundesamt für Raumentwicklung
BAFU:	Bundesamt für Umwelt
BFE:	Bundesamt für Energie
EnG:	Energiegesetz
FST:	Fuzzy Set Theorie
F&M:	Feststoffe und Morphologie
GR:	Gewässerraum
GM:	Geschiebemanagement
GSchG:	Gewässerschutzgesetz
KEV:	Kostendeckende Einspeisevergütung
KWKW:	Kleinwasserkraftwerke, hier < 1 MW
LR:	Landschaftsraum
LCA:	Life Cycle Assessment (Ökobilanzierung)
RW:	Restwasser
SS:	Schwall-Sunk
SR:	Stauraum
WKW:	Wasserkraftwerke (ohne Begrenzung)



# 1 Ausgangslage

Kleinwasserkraftwerke (KWKW) werden sehr kontrovers diskutiert. Einerseits gehören Wasserkraftwerke bezüglich der Schonung von energetischen Ressourcen sowie Schadstoffemissionen zu den ökologischsten Energiesystemen der Strombereitstellung, und spielen daher in der Energiestrategie des Bundes eine wichtige Rolle. Andererseits sind Wasserkraftwerke mit Eingriffen in Ökosystemen verbunden, und werden daher auch kritisch beurteilt. Die positiven ökologischen Einflüsse auf überregionaler oder globaler Ebene, wie z.B. Klimaschutz, können bei KWKW im Widerspruch zu den lokalen Auswirkungen stehen.

Vor allem Naturschützer, die ihren Fokus auf lokale und regionale Aspekte legen, beurteilen die negativen ökologischen Auswirkungen von KWKW oft höher als deren Nutzen. KWKW bis zu einer gewissen Grösse werden von Gewässerschützern meistens abgelehnt. Dabei ist aber zu beachten, dass die Auswirkungen vom Standort und von der Anlage abhängen. Je nach Situation und den mit dem Projekt verbundenen Massnahmen können KWKW durchaus ökologisch sinnvoll sein.

# 2 Ziel der Arbeit

Vor dem Bau oder Umbau eines KWKW ist eine Abwägung zwischen den Nutzungs- und Schutzinteressen unumgänglich. Bei kleinen Leistungskategorien ist der Aufwand für eine vertiefte ökologische Beurteilung der lokalen Effekte jedoch vergleichsweise hoch. Aus diesem Grund hat die Firma Carbotech AG im Rahmen eines geförderten Projekts die Grundlagen für ein Entscheidungsinstrument erarbeitet. Dieses soll vor Planungsbeginn mit geringem Aufwand eine zuverlässige Ersteinschätzung der ökologischen Sinnhaftigkeit von KWKW geben.

Dieses Projekt mit dem Titel „Entscheidungshilfe für die ökologische Standortwahl von Schweizer Kleinwasserkraftwerken“ konzentriert sich auf KWKW in der Grössenordnung < 1 MW, die für Naturschutzverbände und teilweise auch auf politischer Ebene umstrittener sind als grössere Kraftwerke.

Das Entscheidungsinstrument soll zwei Fragestellungen abdecken:

- Erste Einschätzung des ökologischen Werts des Gewässerabschnitts und des entsprechenden Aufwands für die ökologische Realisierung eines KWKW (Stufe 1 – Bewertung Standort). Die Stufe 1 soll in der Phase der Machbarkeit- und Variantenabklärung als Entscheidungshilfe dienen, ob ein Projekt weiterverfolgt werden soll oder nicht.
- Erste ökologische Beurteilung der geplanten Anlage (Stufe 2 – Bewertung Anlage)  
Die Stufe 2 soll in der Vorprojektphase helfen die ökologischen Auswirkungen zu beurteilen und ggf. Schwachstellen zu ermitteln.

Zudem ist das Projekt in zwei Phasen unterteilt:

## A) Forschung und Entwicklung (Forschungsprogramm Wasserkraft)

1. Zusammentragen bestehender Methoden und Resultate
2. Umsetzung in ein Fuzzy Set Modell
3. Abklären, ob das vorgeschlagene Vorgehen (Modellierung mit der FST) für die Beantwortung der obigen Fragen erfolgsversprechend ist.



## B) Umsetzung (Energie Schweiz)

1. Überprüfung des Modells und Erstellung eines benutzerfreundlichen Interfaces
2. Kommunikation und Schulung

Dieser Bericht beschreibt die Ergebnisse der Phase A und prüft, ob der Ansatz der Modellierung mit der Fuzzy Set Theorie eine geeignete Methode für die Erstellung des Entscheidungsinstrumentes ist.

# 3 Grundlagen

In einem ersten Schritt wurden bestehende Methoden, Grundlagen und Resultate zusammengetragen und hinsichtlich der Entwicklung eines Entscheidungsinstrumentes für KWKW geprüft. In den nachfolgenden Kapiteln sind die wichtigsten Punkte dieser Recherchen und die daraus resultierenden Randbedingungen für die Modellierung beschrieben. Berücksichtigt bei der Grundlagenrecherche wurde sowohl Literatur aus der Schweiz (BAFU et al., 2011; Bratrich et al., 2001; Hemund, 2012) als auch Literatur aus Nachbarländern (u.a. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, 2012; France Hydro-électricité et al., 2011; Rippl & im Auftrag von EUROSOLAR e.V., 2004; Zelenakova et al., 2013; Convenzione delle Alpi, 2011).

## 3.1 Gesetzliche Grundlagen

Die Energiestrategie 2050 des Bundes fördert die Erweiterung von Wasserkraft, sowohl grosse wie kleine Anlagen. Mit der Einführung der kostendeckenden Einspeisevergütung aus erneuerbaren Energien (KEV) wurden in den letzten Jahren viele Projekte für den Bau, die Erweiterung oder die Reaktivierung von Kleinwasserkraftwerken bis 10 MW Leistung eingereicht. Einige dieser Anlagen sind heute in Betrieb, andere durchlaufen das Bewilligungsverfahren oder sind auf der Warteliste.

Durch die politische Debatte um die Sinnhaftigkeit von KWKW wurde mit der Version vom 30. September 2016 des Energiegesetzes beschlossen (Schweizerische Eidgenossenschaft, 2016), dass Wasserkraftanlagen unter 1 MW und über 10 MW nicht am Einspeisevergütungssystem teilnehmen können. Ausgenommen sind Trinkwasser- und Abwasseranlagen. Ausserdem kann der Bundesrat in folgenden Fällen Ausnahmen vorsehen:

- Das KWKW liegt innerhalb einer bereits genutzten Gewässerstrecke.
- Das KWKW ist mit keinen neuen Eingriffen in natürliche Gewässer verbunden.

Seit September 2015 ist zudem im Gewässerschutzgesetz festgehalten, dass die Kantone mit der Unterstützung des Bundes für die Revitalisierung von Gewässern zuständig sind (*Gewässerschutzgesetz, GSchG*, 2015). Projekte zur Revitalisierung von Gewässern können kompatibel, aber auch in Konflikt mit KWKW-Projekten sein.

Eine gemeinsame Grundlage für die ökologische Bewertung der Projekte wird benötigt: Sowohl im Fall von KWKW-Projekten, die von der KEV unterstützt werden, oder auf der Warteliste sind, aber auch im Fall der oben genannten Ausnahmen und gegebenenfalls in Anbetracht der geplanten Renaturierungsmassnahmen.

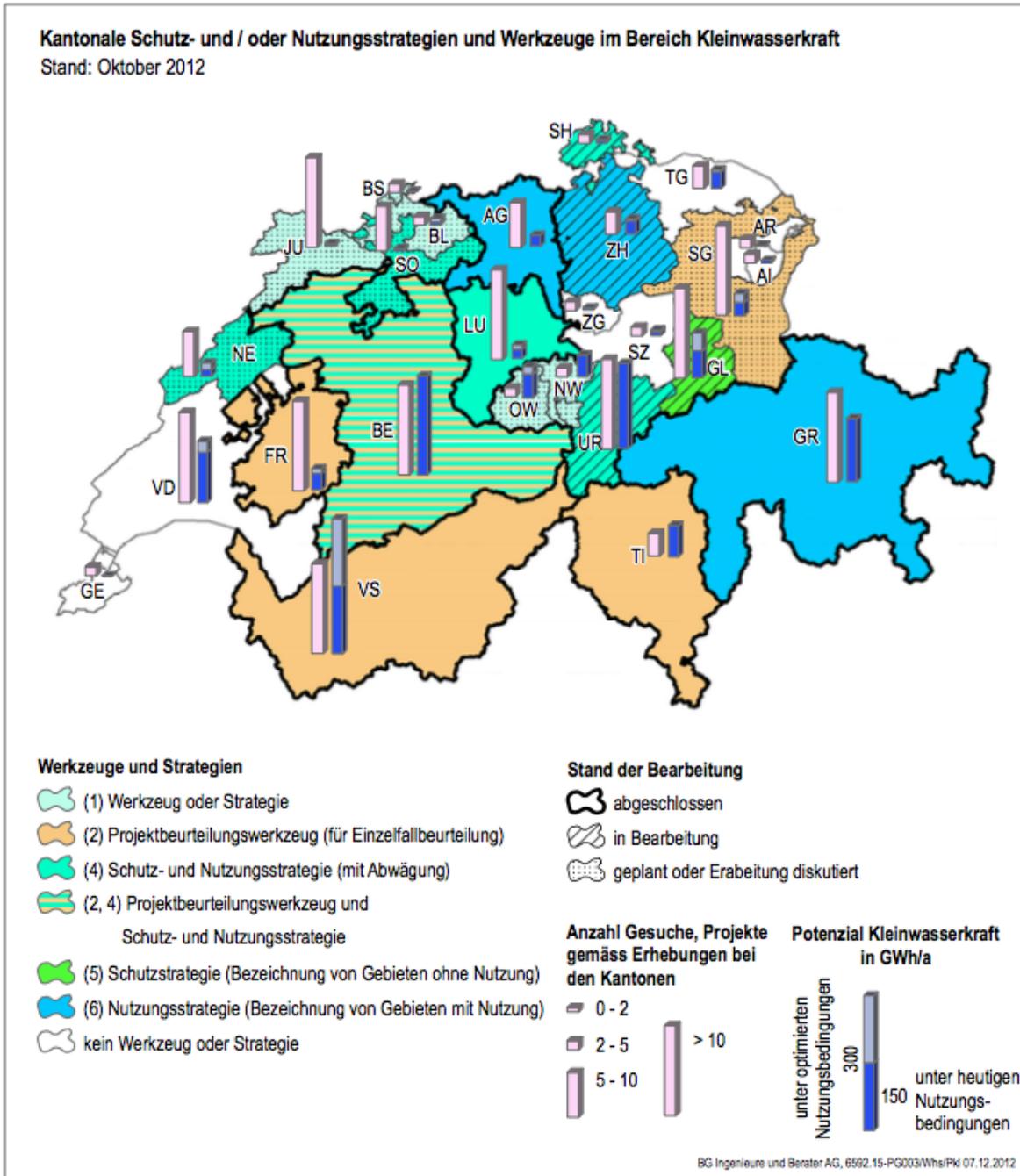


## 3.2 Beurteilungsverfahren und Optimierungspotenzial

Wenn Kraftwerksbetreiber oder Investoren den Bau oder Umbau eines KWKW planen, benötigen sie die Erlaubnis des jeweiligen Kantons. Im Fall von öffentlichen Gewässern ist eine Konzession erforderlich. Bei privaten Gewässern wird eine Nutzungsbewilligung verlangt. Zudem muss der Kanton eine Baubewilligung erteilen. Behörden, Verbände und Private haben die Möglichkeit, gegen den Bau eines KWKW Einsprache zu erheben. Um Einsprachen zu minimieren empfiehlt es sich, in einem möglichst frühen Stadium nicht nur das ökonomische Potential des geplanten Werkes zu prüfen, sondern auch ökologische und gesellschaftliche Fragen zu berücksichtigen. Neben einer detaillierten Prüfung der Gesetzeslage sowohl auf Bundes-, Kantons- wie Gemeindeebene, kann es hilfreich sein, potentielle Nutzungskonflikte und den ökologischen Wert des betroffenen Gewässerabschnitts einzuschätzen.

Abbildung 1 gibt einen Überblick der verschiedenen Beurteilungs-Ansätze und des KWKW-Potenzials der Kantone (Wasseragenda21 et al., 2012). Während beispielsweise der Kanton Bern sowohl eine eigene Beurteilungsmethode (Amt für Umweltkoordination und Energie des Kantons Bern, 2010) wie eine Wassernutzungsstrategie (Amt für Wasser und Abfall, 2010) entwickelt hat, beurteilen andere Kantone Gesuche im Einzelfall, ohne sich auf ein Tool oder eine Strategie zu stützen. Entsprechend ist die Beurteilungsgrundlage von Gesuchen je nach Kanton unterschiedlich. Ein ähnliches Gesuch kann aus beurteilungs- und administrativen Gründen zu unterschiedlichen Entscheidungen führen.

Planungsbüros gehen die Vorprüfung auch sehr unterschiedlich an. Einige fokussieren erst auf die technische Machbarkeit und die Investitionskosten, während andere von Anfang an im Dialog mit den Behörden und Verbänden ihre Planung angehen. Naturschutzorganisationen und Ökologie-Experten bedauern, dass ökologische Fragen oft zu spät betrachtet werden, sodass sie während der Einsprache-Frist diese Rolle übernehmen müssen. Der WWF hat beispielsweise aus diesem Grund eine Checkliste erstellt (WWF Schweiz und Pro Natura, 2008).



**Abbildung 2: Übersicht über kantonale Strategien und Werkzeuge, Bearbeitungsstand, Anzahl beim Kanton hängige Gesuche und Potenzial Kleinwasserkraft.** Die dargestellte Anzahl Gesuche wurde bei den Erhebungen bei den Kantonen erfragt. Sie umfasst neben den offiziellen Konzessionsgesuchen teilweise auch Projektideen, Gesuche zur Vorprüfung und mehrere Gesuche für denselben Standort. Die dargestellten Kleinwasserkraftpotenziale wurden aus dem BFE-Bericht 2012 "Wasserkraftpotenzial der Schweiz" übernommen.

**Abbildung 1: Übersicht über kantonale Strategien und Werkzeuge** (Wasseragenda21 et al., 2012)

### 3.3 Verwendete Beurteilungsgrundlagen

Die bestehenden Schutz- und Nutzungsstrategien für Gewässer, die mehrere Kantone erstellt haben, richten sich unter anderem auf die gemeinsamen Empfehlungen des BAFU, BFE und ARE (BAFU et al., 2011). Darin wird eine Matrix vorgeschlagen, die Schutz- den Nutzungsinteressen gegenüberstellt und bewertet. Eine Liste an Kriterien wird vorgeschlagen, die entweder zum Ausschluss eines Gesuchs führen sollten, oder auf den ökologischen Wert und das energetische Potenzial des Gewässerabschnitts hinweisen. In diesem Projekt wurden diese Empfehlungen verwendet, um im entwickelten Tool die gesetzlichen Randbedingungen aufzuführen.

Ökologische Fragestellungen, die weiter als die gesetzlichen Grundlagen für Anlagen gehen, werden mit den Greenhydro-Kriterien, im Rahmen der naturemade star Zertifizierung vorgeschlagen (Bratrich et al., 2001). Heute durchlaufen vor allem grössere WKW den Zertifizierungsprozess für naturemade star, doch die Grundsätze betreffen ebenfalls KWKW. Die Greenhydro-Kriterien basieren auf einem umfassenden Expertenwissen. Die Methode ist im In- und Ausland breit anerkannt. Im Rahmen dieses Projekts wurden diese Kriterien als eine wichtige Grundlage in der Erstellung des Modelles für die Bewertung der Anlage in der Stufe 2 verwendet. Dabei wurden diejenigen Kriterien ausgewählt, welche für KWKW relevant sind. Abbildung 2 zeigt die Greenhydro Kriterien-Matrix.

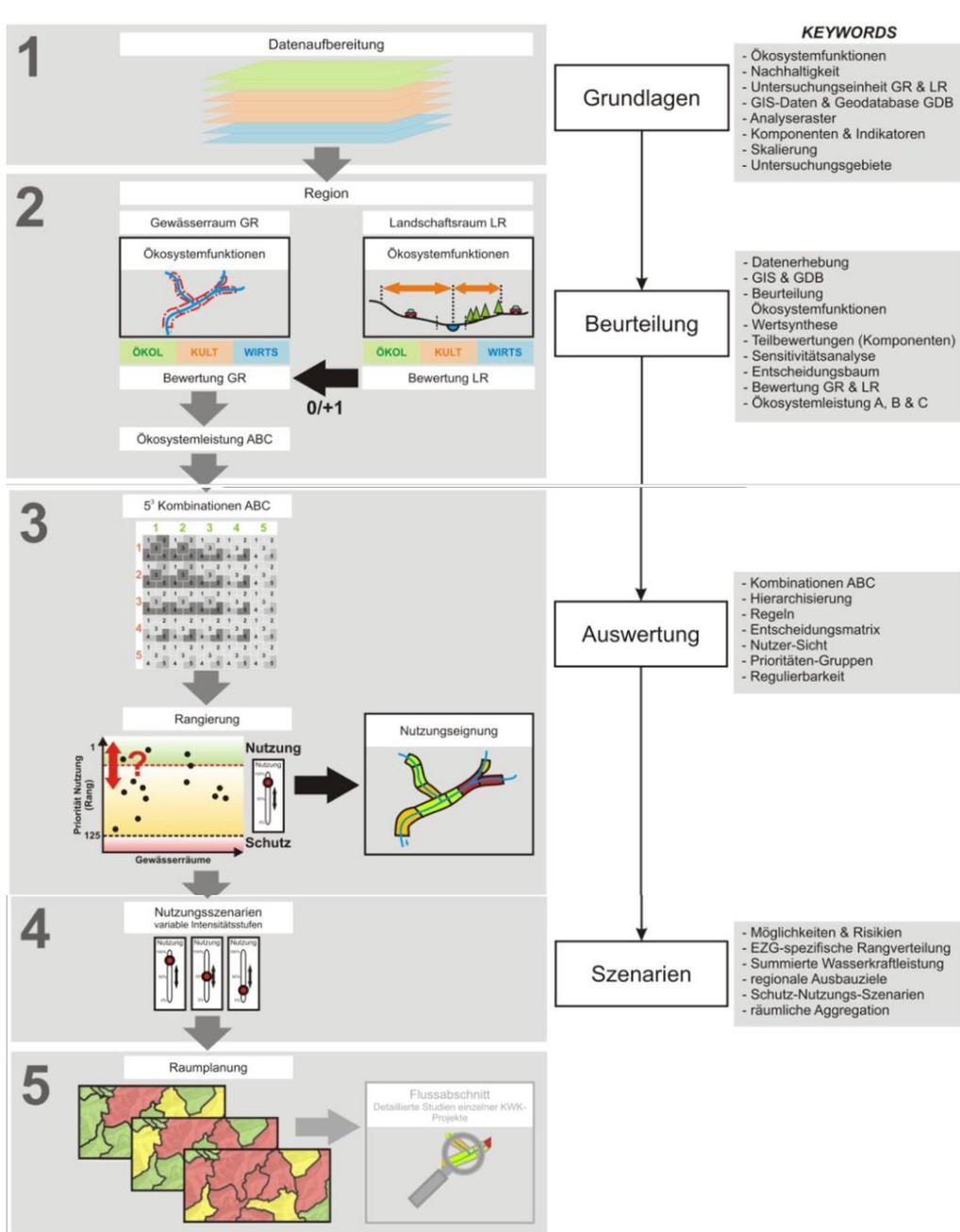
	Restwasserregelungen (Kap. 9)	Schwall-/Sunkregelungen (Kap. 10)	Stauraummanagement (Kap. 11)	Geschiebemanagement (Kap. 12)	Anlagen-gestaltung (Kap. 13)
 Hydrologischer Charakter	R1-R3	SS1-SS3	S1-S3	G1	A1-A2
 Vernetzung der Gewässer	R4-R6	SS4	S4-S6	keine	A3
 Feststoffe & Morphologie	R7	keine	S7-S8	G2-G5	A4
 Landschaft & Biotope	R8-R9	SS5-SS6	S9-S10	G6	A5-A6
 Lebensgemeinschaften	R10-R11	SS7	S11-S13	G6	A7

**Abbildung 2:** Übersichtsmatrix zur Ermittlung der Ökostrom-Grundanforderungen (Bratrich et al., 2001)

Die Beurteilung eines potentiellen Standortes benötigt einen umfassenderen Ansatz über die Bewertung der Wirkung der spezifischen Anlage hinaus. In den vielen Schritten bis zur Inbetriebnahme eines KWKW spielen nicht nur ökologische Aspekte der Anlage und Kosten/Betriebskosten eine Rolle. Auch kulturelle, gesell-



schaftliche und allgemeine wirtschaftliche Aspekte sowie standortspezifische Schutzinteressen sind von einem Bau- oder Umbauprojekt betroffen. Diese weiteren Aspekte der Nachhaltigkeit wurden in der Dissertation von Carol Hemund zur ganzheitlichen Beurteilung des Wasserkraftpotentials von schweizerischen Fließgewässern vertieft (Hemund, 2012). Im Vergleich zu vielen anderen Beurteilungsgrundlagen wird darin neben dem Gewässerraum (GR) auch der Landschaftsraum (LR) auf drei Ebenen der Ökosystemfunktionen betrachtet und damit die potentiellen Nutzungskonflikte abgedeckt. Abbildung 3 fasst Carol Hemunds Methode zusammen.



**Abbildung 3:** Schematische Darstellung des Ablaufs bei der ganzheitlichen Bewertung des Wasserkraftpotentials mit der von Carol Hemund erarbeiteten Methode (Hemund, 2012).



Ausserhalb der oben genannten Methoden können KWKW-Projekte auch anhand des Modul-Stufen Konzeptes (BUWAL, 1998a) beurteilt werden. Dieses ermöglicht z.B. eine flächendeckende Einschätzung der Ökomorphologie (BUWAL, 1998b). In diesem Projekt wurde das Vorgehen der Standortbewertung in Zusammenarbeit mit Experten ausgehend von den Grundlagen von Hemund entwickelt. Das Modul-Stufen Konzept wurde als eine Hilfe für die Definition der Dateneingabe verwendet.

### 3.4 Einsatz und Grenzen des Entscheidungsinstrumentes

Das Tool, deren Grundlagen in diesem Projekt erarbeitet werden, ist eine Entscheidungshilfe für alle möglichen Nutzer: Behörden, Betreiber, Investoren, Planungsbüros, Experten, Umweltverbände und andere mögliche betroffene Akteure. Die Ergebnisse der Bewertung sollen zudem Hinweise auf die Aspekte geben, die bei der Prüfung eines Gesuchs besonders wichtig sein können. Wenn viele oder besonders wichtige Aspekte ein Risiko aufzeigen, ist zu erwarten, dass auch eine spätere, detaillierte Prüfung von einer Bewilligung abrät. Aufgrund der ausgeführten Recherchen und Abklärungen mit möglichen Nutzern ist ein zweistufiges Vorgehen für die Bewertung vorgesehen. Das zu entwickelnde Tool soll mit einer 1. Stufe bei der Projektidentifikation und Vorabklärung, siehe Abbildung 4, aufzeigen, ob das Projekt weiterverfolgt werden soll, und wo aufgrund der Wahl des Standortes grössere Anstrengungen notwendig sind, um das Projekt mit den nötigen ökologischen Standards zu realisieren. In der Vorprojektphase, siehe Abbildung 4, soll eine 2. Stufe der Bewertung zeigen, in welchem Mass das Projekt bzw. die geplante Anlage den Anforderungen der Greenhydro-Kriterien genügt, und damit helfen, mögliche Schwachstellen zu erkennen. Entsprechend soll das Instrument helfen, Kosten einzusparen, da in einer frühen Projektphase mögliche Schwachstellen erkannt werden, siehe Abbildung 5. Dies kann zu einer Optimierung oder sogar dazu führen, dass das Projekt nicht weiterverfolgt wird, wenn das Risiko als zu hoch eingestuft wird.

Zu beachten ist jedoch, dass die Beurteilung mit dem Modell eine vertiefte Abklärung nicht erübrigt. Ebenso wenig haben die Resultate rechtsgültigen Charakter oder ersetzen eine Zertifizierung oder eine Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP).

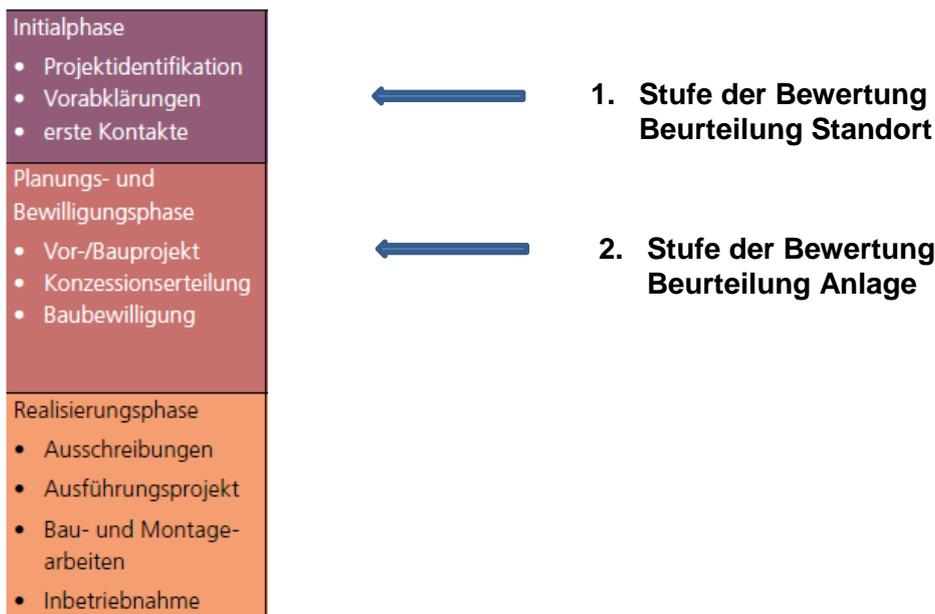


Abbildung 4: Einsatz der Beurteilungsinstrumente in den verschiedenen Projektphasen (Tannò et al., n.d.)

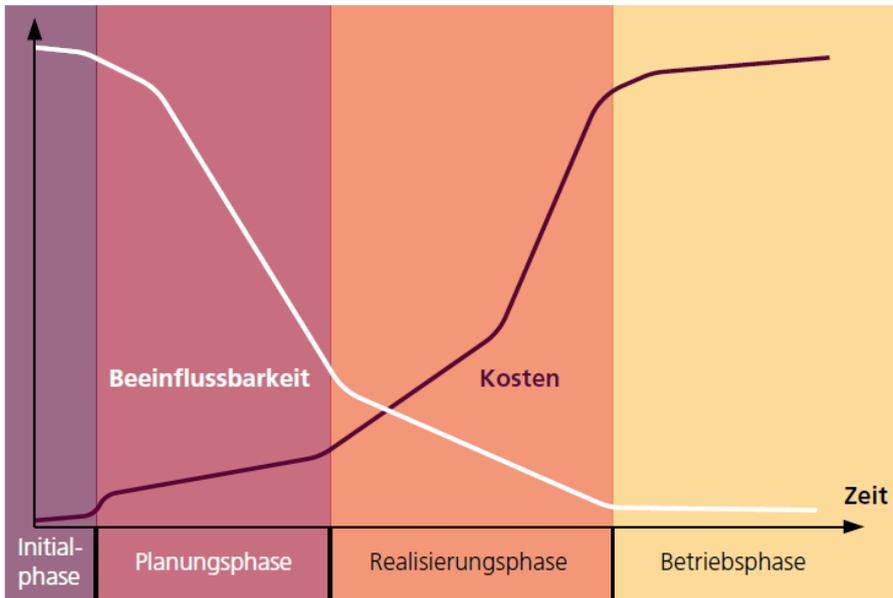


Abbildung 5: Kosten und Beeinflussbarkeit in den verschiedenen Phasen eines KWKW (Tannò et al., n.d.)

## 4 Methodenwahl und Vorgehen Umsetzung

### 4.1 Ökologische Bewertungen von KWKW

Die Ökobilanz (LCA) ist international anerkannt die umfassendste Methode für die ökologische Beurteilung z.B. von Energiesystemen. Bei dieser Bewertung schneiden KWKW im Vergleich zu anderen erneuerbaren und nicht erneuerbaren Energiesystemen sehr gut ab (z.B.(BFE, 2012)). Es ist zu beachten, dass die Ökobilanzierung vor allem globale und regionale Umweltauswirkungen berücksichtigt. Im Bereich der Ökologie, insbesondere der Biodiversität, ermöglicht es eine LCA nicht, die lokalen Auswirkungen adäquat zu berücksichtigen. Ebenso werden die Dimensionen Gesellschaft und Wirtschaft nicht einbezogen. Speziell die lokalen Auswirkungen auf die Ökosysteme sind jedoch bei WKW relevant, und müssen entsprechend bei einer ökologischen Bewertung berücksichtigt werden. Eine gesamtheitliche und quantitative Bewertung der lokalen ökologischen Fragestellungen bei der Planung eines KWKW ist mit einem sehr hohen Arbeitsaufwand verbunden. Insbesondere bei Kleinanlagen von mehreren kW bis 300 kW wird der Aufwand zur Bewertung und Realisierung von vielen Behörden als unverhältnismässig eingeschätzt. Messungen von Biodiversität, hydrologischen Verhältnissen und Geschiebe liegen nicht im finanziellen Rahmen eines KWKW.

Viele Experten im Bereich aquatische Ökologie, Wasserbau, Biodiversität, Ingenieure etc. haben in den letzten Jahrzehnten jedoch Wissen und Erfahrungen akkumuliert, so dass fundierte Aussagen und Einschätzungen ohne Messungen möglich sind. Die Fuzzy Set Theorie (Lehre der Unschärfen) ist eine Methode, um solche qualitativen oder halb-quantitativen Aussagen zu erfassen und in quantitative Ergebnisse umzuwandeln. Zur Modellierung und Beurteilung der lokalen ökologischen Aspekte von KWKW wurde aus diesem Grund die Fuzzy Set Theorie verwendet.



## 4.2 Die Methode der Fuzzy Set Theorie

Alltägliche Systeme sind oft so komplex, dass sie nur in den seltensten Fällen mathematisch exakt beschreibbar sind. Albert Einstein beschrieb diesen Sachverhalt folgendermassen: „So weit die Gesetze der Mathematik die Realität betreffen, sind sie unsicher. Und soweit sie sicher sind, beziehen sie sich nicht auf die Realität“. Je komplexer ein System ist, wie zum Beispiel die Umwelt oder die Gesellschaft, umso wichtiger wird Relevanz. Denn nur die Beschränkung auf Relevanz erlaubt es, die notwendige Effizienz zu erzielen. Die Voraussetzung dafür ist, die wesentlichen Zusammenhänge zu erkennen. Diese Fähigkeit ist eine der Stärken des Menschen, die ihn von einem Computer unterscheiden. Computer können enorme Datenmengen speichern, und diese zum Beispiel mit statistischen Methoden auswerten. Ob die damit gefundenen Korrelationen tatsächlich kausale Zusammenhänge darstellen, ist damit nicht gesagt.

Um diese Stärke der Sprache, Relevantes auszudrücken, auch wenn es nicht exakt definiert ist, auszunutzen, wurde in den sechziger Jahren die Fuzzy Set Theorie (FST) entwickelt. Eine mathematische Disziplin, welche sprachliche Aussagen mathematisch beschreiben kann. Weiter wurden dafür alle mathematischen Rechenoperationen definiert, welche es gestatten, die unscharfen Grössen mit exakten mathematischen Grössen zu verrechnen. Dabei standen die folgenden Anforderungen im Vordergrund:

- Modellierung fließender Übergänge, z. B. Alter: Ab wann ist man nicht mehr jung sondern alt?
- Einbezug von qualitativem Expertenwissen mit Hilfe linguistischer Variablen – die meisten Menschen können ihr Wissen nicht in mathematischen Formeln ausdrücken; wertvolles subjektives Wissen soll so über sprachliche Aussagen integriert werden.
- Zusammenbringen von quantitativen und qualitativen Daten und Wissens auf eine mathematisch exakte Weise.
- Einbezug von klassischer, exakter Mathematik.

Das Vorgehen bei der Anwendung der FST umfasste die folgenden Schritte:

- Ermittlung der notwendigen Daten und Datenaufbereitung
- Die Bestimmung der relevanten Einflussgrössen. In diesem Projekt erfolgte diese Bestimmung einerseits mit Expertenbefragung, andererseits basierend auf bestehender Literatur in der Schweiz (BAFU et al., 2011; Bratrich et al., 2001; Hemund, 2012) und international (u.a. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, 2012; France Hydroélectricité et al., 2011; Ripl & im Auftrag von EUROSOLAR e.V.;, 2004; Zelenakova et al., 2013; Convezione delle Alpi, 2011).
- Definition der unscharfen Grössen (Fuzzy Set) und Fuzzyifizierung. Die Eingangsgrössen werden als linguistische Variable dargestellt.
- Definition der Zusammenhänge mit Regelblöcken (Modellbildung) Die Zusammenhänge, welche als Expertenaussagen vorliegen, wie z. B. „Wenn die Temperatur hoch ist, so steigt die Ozonkonzentration“, werden in Regeln gefasst, welche die Eingangsgrössen mit den Ausgangsgrössen verknüpfen.
- Modellierung und Diskussion der Ergebnisse mit den Experten. Die Ergebnisse dieses Modells werden mit Messergebnissen verglichen. Falls die Korrelation nicht genügend ist, werden mit den Experten mögliche Änderungen des Modells diskutiert. Dieser Vorgang wird so lange wiederholt, bis die Ergebnisse befriedigend sind. In diesem Projekt wurden die Fuzzy-Ergebnisse mit denen von bestehenden Anlagebeurteilungen verglichen.



## 5 Fuzzy Set Modell

### 5.1 Referenzzustand und Skala

Um beurteilen zu können, bis zu welchem Grad ein Kriterium erfüllt ist, ist die beobachtete Skala und der verglichene Referenzzustand entscheidend. Eine Angabe der Skala ist für beide Stufen der Bewertung „Stufe 1 Standort“ und „Stufe 2 Anlage“ erforderlich.

#### 5.1.1 Räumliche Skala

In Hemunds (2012) ganzheitlicher Beurteilungsmethode werden Gewässerabschnitte und, proportional zur Breite des Flusses, der Landschaftsraum betrachtet. Die Abschnitte werden auf Karten addiert, um ganze Einzugsgebiete aufzuzeigen. Im Modul-Stufen-Konzept (BUWAL, 1998a) wird bei der Beurteilungstiefe zwischen „flächendeckend“, „systembezogen“ und „abschnittbezogen“ unterschieden. Greenhydro (Bratrich et al., 2001) fokussiert in erster Linie auf die durch die Anlage direkt betroffenen Zonen (Stauraum, Restwasserstrecke, Lebensräume).

Das in diesem Projekt entwickelte Tool fokussiert auf folgende Skalen:

- bei Kriterien, die die lokale Situation angehen: Mindestens 2 Mal die Länge der Ausleitstrecke bei Ausleitungskraftwerken und auf mindestens 100m (ca. 10 % vor und 90 % nach der Turbine) bei Durchlaufkraftwerken.
- Bei Kriterien, die die Vernetzung betreffen: Strecke flussabwärts bis zur Mündung des Gewässers ins Hauptgewässer (minimal bis zum Übergang zur nächsten Ordnungszahl). Flussaufwärts gesamter Einflussbereich des KW (bei Fischgewässern mögliche Auswirkung auf Source Gebiete oberhalb)
- Bei Fragen zu inventarisierten Schutzzonen: entweder das Schutzzonen-Gebiet oder signifikante Nähe zum Schutzgebiet sofern das Schutzziel des Schutzgebiets durch das KWKW betroffen wäre, oder geplante Erweiterungen der Schutzzone betroffen sind.

#### 5.1.2 Referenzzustand

In der Beurteilungsstufe 1 wird als Referenzzustand der IST-Zustand verwendet. Einerseits wird dessen ökologischer Wert und andererseits, im Hinblick auf das Projekt, der Aufwand einer ökologischen Realisierung unter den gesetzlichen Randbedingungen und Schutzinteressen eingeschätzt. In gewissen Fällen ist es nötig, verschiedene Szenarien zu vergleichen, in dem einzelne Variablen angepasst werden (zum Beispiel im Fall von Gesetzesänderungen oder bei neuen Schutzziele).

Die 2. Beurteilungsstufe basiert auf Greenhydro-Kriterien, die als Referenz den „natürlichen Zustand“ vor ca. 150 Jahren annehmen. Sowohl der IST-Zustand als auch der projektierte Zustand werden mit den Greenhydro-Kriterien bewertet und verglichen. Der relative Unterschied zum IST-Zustand wird als Ergebnis für die Beurteilung der Anlage verwendet. Falls das Projekt zum Bau, Umbau oder Vergrößerung eines KWKW in Konflikt mit anstehenden Projekten zur Gewässer-Revitalisierung oder anderen Renaturierungen/Sanierungen/Renovierungen steht, kann in der 2. Stufe das Ergebnis zusätzlich mit der Renaturierung verglichen werden. Möglich ist auch ein Variantenvergleich zur Optimierung des geplanten KWKW.



## 5.2 Aufbau Fuzzy Modelle

Die Bewertung erfolgt aufgrund der Diskussion mit Experten in zwei separaten Stufen.

- Die 1. Stufe der Bewertung erfolgt typischerweise in der Phase der Projektidentifikation (Machbarkeit- und Variantenstudie, siehe Abbildung 4) in der abgeklärt wird, ob ein Projekt technisch und rechtlich machbar ist. Erfasst und bewertet wird in dieser Phase der Standort mit den in Kapitel 5.3 aufgeführten Kriterien zum Schutzbedarf und zu Nutzungskonflikten sowie damit verbundene Einschränkungen und ökonomische Risiken für die Planung eines KWKW.
- Die 2. Stufe der Bewertung wird typischerweise in der Vorprojekt-Phase eingesetzt, siehe 0, um zu erkennen, wie weit mit dem Bau des KWKW der IST-Zustand oder eine geplante Renaturierung<sup>1</sup> beeinflusst wird. Dabei wird das Projekt sowie der IST-Zustand, und der Zustand der Renaturierung an den in Kapitel 5.4 aufgeführten Kriterien von Greenhydro gemessen und beurteilt. Diese 2. Stufe der Bewertung ermöglicht Rückschlüsse zu Schwachstellen des geplanten Kraftwerkes, welche behoben werden sollten. Möglich sind zudem Variantenvergleiche zur Optimierung des Kraftwerkes

Im Anhang A und B befindet sich die detaillierte Beschreibung des Fuzzy Modells beider Stufen (Systemstruktur der Auswertung, Eingangsvariablen für beide Bewertungsstufen, Regelblöcke und Zugehörigkeitsfunktionen).

## 5.3 Beschreibung der Kriterien Stufe 1 „Bewertung Standort“

In Zusammenarbeit mit Experten verschiedener Fachgebiete wurden basierend auf den Grundlagen der Gesamtheitlichen Bewertung Hemunds (2012) und Empfehlungen des BAFU (BAFU et al., 2011) sowie weiteren Methoden aus dem In- und Ausland Kriterien für die Bewertung der nachfolgenden Themenschwerpunkte zusammengestellt:

- Schutzzonen und –gebiete von nationaler und regionaler Bedeutung: Vereinbarkeit mit Schutzziel, ökologische Realisierbarkeit und damit verbundenen Mehrkosten
- Ökologischer Wert Gewässer und Landschaftsraum: Natürlichkeit Fließgewässer Hydrologie, Ökomorphologie, Geschiebehauhalt und Vernetzung sowie damit verbundene Mehraufwände einer ökologischen Realisierung.
- Ökonomische Risiken: Situationsbedingte Risiken, fehlende Erschliessung, beschränktes Potential Stromproduktion, Einschränkungen mit Restwasserregelungen und ähnliches.
- Nutzungskonflikte: Mit Nutzungskonflikten verbundene Risiken und Mehraufwände

---

<sup>1</sup> Ein KWKW Projekt kann in dieser Beurteilungsstufe 2 („Anlagebewertung“) mit verschiedenen Szenarien verglichen werden. Ein häufiger Fall ist eine geplante Revitalisierung von Gewässern (Priorität 1), die mit dem KWKW-Projekt in Konflikt kommen. Aus Einfachheitsgründen wird im Rahmen der Beschreibung der Stufe 2 das Wort „Renaturierung“ als umfassender Begriff verwendet, um verschiedene Szenarien zu beschreiben: Gewässer-Revitalisierung, andere Massnahmen zur ökologischen Verbesserung des Standortes oder der Anlage sowie Sanierungen, z.B. im Bereich Hochwasserschutz.

Gemäss BAFU bedeutet Renaturierung: „Als Renaturierung versteht man sowohl die Revitalisierung von Fließgewässern und Seeufern als auch die Reduktion der negativen Auswirkungen der Wasserkraftnutzung. Es handelt sich um eine mehrere Generationen überspannende Aufgabe mit zahlreichen Synergien zwischen Gewässerschutz, Hochwasserschutz, Biodiversität und Aufwertungen wovon meist auch die Naherholung profitiert.“ (BAFU, <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/wasser/fachinformationen/massnahmen-zum-schutz-der-gewaesser/renaturierung-der-gewaesser.html>)



Abbildung 7 und Abbildung 8 zeigen den aktuellen Stand der Kriterien-Liste zu diesen Themenschwerpunkten für die Bewertung des Standortes in der Stufe 1. Teilweise liegen bereits Bewertungen zu einzelnen Kriterien von Seiten der Kantone vor. Diese können als Grundlage für die Beurteilung verwendet werden. Mit dieser Liste werden der Schutzbedarf und Nutzungskonflikte für einen potentiellen Standort eines WKW erfasst und die damit verbundenen Einschränkungen und ökonomischen Risiken beurteilt. Resultate einer ersten Testphase mit bestehenden Anlagen sind in Kapitel 5.5 aufgeführt. Aus der Beurteilung lassen sich Schlussfolgerungen zu einzelnen Aspekten, zum ökologischen Wert des Standortes sowie zum damit verbundenen ökonomischen Mehraufwand ableiten.

Grundsätzlich wird davon ausgegangen, dass eine Realisierung unter der Gewährleistung der Schutzziele auch im Bereich von Schutzzonen und Schutzobjekten mit einem entsprechenden Aufwand möglich ist. Entsprechend wurde als Beurteilungsbasis die folgende Klassierung definiert (s. Abbildung 6).

Diese Klassierung Inventare/Schutzzone bedeutet:	
<b>Nein</b>	Standort ist nicht in diesem Inventar
<b>kein</b>	Standort liegt in diesem Inventar, jedoch betrifft das WKW das Schutzziel des Inventares nicht.
<b>gering</b>	Der Einfluss des WKW auf das Schutzziel des Inventares ist gering und kann mit entsprechenden Massnahmen gelöst werden.
<b>mittel</b>	Der Einfluss des WKW auf das Schutzziel des Inventares ist mittel und kann mit weitergehenden Massnahmen gelöst werden.
<b>gross</b>	Der Einfluss des WKW auf das Schutzziel des Inventares ist gross. Entsprechend sind aufwändige Massnahmen notwendig um dies zu lösen.
<b>no go</b>	Ein WKW betrifft das Schutzziel so stark, dass der Bau eines WKW nicht in Frage kommt.

**Abbildung 6:** Klassierung Inventare/Schutzzonen und Schutzobjekte

Die Skala und Referenz für die Beurteilung unterschiedlicher Kriterien und die Anwendung dieser Klassierung sollen in der zweiten Phase des Projektes mit Experten weiter justiert werden.



Schutzzonen von nationaler Bedeutung	Skala und Referenz Beurteilung	Eingabe Beispiel
Bundesinventare der Flach-, Hoch- und Übergangsmoore	Standort im oder am Schutzgebiet? Falls ja, Klassierung Einfluss auf das Schutzziel	Nein
Bundesinventar der Moorlandschaften	Standort im oder am Schutzgebiet? Falls ja, Klassierung Einfluss	Nein
Bundesinventar der Auengebiete und neue Objekte	Standort im Schutzgebiet oder Ausleitung betrifft Schutzgebiet? Falls ja, Klassierung Einfluss	Nein
Bundesinventar der Amphibienlaichgebiete und nicht definitiv bereinigte Objekte	Standort im Schutzgebiet? Falls ja, Klassierung Einfluss	Nein
Bundesinventar der Wasser- und Zugvogelreservate	Standort im Schutzgebiet? Falls ja, Klassierung Einfluss	Nein
National bedeutende Fischlaich- und Krebsgebiete (BAFU Empfehlung Erarbeitung kantonaler Schutz- und Nutzungsstrategien im Bereich KWKW)	Standort im Schutzgebiet? Falls ja, Klassierung Einfluss	Nein
Gemäss der Verordnung über die Abgeltung von Einbussen bei der Wasserkraftnutzung (VAEW) geschützte Gebiete	Standort im Schutzgebiet oder Plan VAEW Schutz? Falls ja, Klassierung Einfluss	Nein
Nationalpark, Naturerlebnispark, bestehender Nationalpark	Standort im Park oder im Bereich einer geplanten Erweiterung? Falls ja, Klassierung Einfluss	Nein
UNESCO-Weltnaturerbe mit Schutzziel Fließgewässer oder Biosphärenreservat	Im Reservat oder Plan Erweiterung? Falls ja, Klassierung Einfluss	Nein
Gewässer mit Vorkommen der vom Aussterben bedrohten Fischarten Roi du Doubs, Sofie, Savetta, Marorforelle oder Nase	Standort im oder am Schutzgebiet? Falls ja, Klassierung Einfluss	Nein
Andere Schutzobjekte	Skala und Referenz Beurteilung	
Rechtskräftige Schutz- und Nutzungsplanung (SNP) nach Art. 32 Bst. c GSchG (bei Schutz/Kompensation)	In der Ersatzfläche SNP oder Plan SNP? Falls ja, Klassierung Einfluss	Nein
Kantonale Nutzungsplanung Wasserkraft	Kartierung Flussabschnitt, welche KW ausschliesst? Falls ja, Klassierung Einfluss	Nein
Kantonale Revitalisierungsplanung vorhanden	Im Gebiet der geplanten Revitalisierung? Falls ja, Klassierung Einfluss	Nein
Grundwasserschutzzonen S1 & S2	in der Zone oder im Einflussbereich? Zusammenhang Fließgewässer mit Grundwasser? Falls ja, Klassierung Einfluss	Nein
Grundwasserschutzareale	in der Zone? Falls ja, Klassierung Einfluss	gering
Bundesinventar der Landschaften und Naturdenkmäler (BLN), wenn das Schutzziel durch eine Nutzung KW beeinträchtigt würde.	Standort im BLN Gebiet und Schutzziel gefährdet durch KW? Falls ja, Klassierung Einfluss	Nein
Smaragd-Gebiete	Standort im Smaragd-Gebiet oder Einfluss auf ein Smaragd-Gebiet? Falls ja, Klassierung Einfluss	Nein
Schutzwürdige Lebensäume und gefährdete Arten nach Art. 18 Abs. 1bis NHG, insbesondere auch Quellen und andere Ufervegetation	Mit dem Fluss verbundener schutzwürdiger Lebensraum? Falls ja, Klassierung Einfluss	Nein
Wasserfall	Gibt es am Standort einen Wasserfall? Falls ja, Klassierung Einfluss	Nein
Moore, Auen und Amphibienlaichgebiete von regionaler Bedeutung, die in einem kantonalen oder kommunalen Inventar enthalten sind.	wie oben Inventare Moore, Auen, etc.	Nein
Kantonale Schutzgebiete für prioritäre Arten	wie oben Schutzgebiete nationaler Bedeutung	Nein
Naturerlebnispark oder Naturpark mit regionaler Bedeutung	wie oben Erlebnispark nationaler Bedeutung	Nein
Kantonale oder kommunale Schutzgebiete	wie oben Schutzgebiete nationaler Bedeutung	Nein
Andere	Standorten mit weiteren, nicht erfassten Schutzinteressen (z.B. Vogelschutz, Militär, Bahn, etc.)	Nein

Abbildung 7: Kriterien der Beurteilung Stufe 1 „Standorteignung“ –Schutzzonen/Schutzobjekte



Ökologischer Wert Gewässer/Landschaft	Skala und Referenz	Erläuterung Eingabe, Kriterien Bewertung	Eingabe Beispiel
E10 Hydrologie	Gebiet, welches direkt betroffen ist (je nach KW Typ und proportional zum Fluss, min. 100 m, Ausleit KW min. 2x Ausleitstrecke)	Natürlichkeit: Schwankungen, Variabilität der Wassermenge und Wassertiefe (natürlich-naturnah = hoher Wert / naturfremd-künstlich = tiefer Wert)	hoch
E11 Ökomorphologie	Gebiet, welches direkt betroffen ist (je nach KW Typ und proportional zum Fluss, min. 100 m, Ausleit KW min. 2x Ausleitstrecke)	Natürlichkeit: Variation Breite Gewässer, Fließgeschwindigkeit, Wasserspiegel, Uferstruktur (natürlich-naturnah = hoher Wert / naturfremd-künstlich oder eingedolt = tiefer Wert)	hoch
E12 Geschiebe/Feststoffe	Gebiet, welches direkt betroffen ist (je nach KW Typ und proportional zum Fluss, min. 100 m, Ausleit KW min. 2x Ausleitstrecke)	Natürlichkeit: Sohle/Uferbereich, natürlicher Geschiebetransport bei Hochwasserereignissen (natürlich-naturnah = hoher Wert / naturfremd-künstlich oder eingedolt = tiefer Wert)	hoch
E21 Einfluss auf die Vernetzung	Flussabwärts bis zur Mündung des Gewässers ins Hauptgewässer, Flussaufwärts gesamter Einflussbereich Fischgängigkeit	Einfluss des Gewässerabschnittes auf andere Gewässer, Grundwasser, Fischgängigkeit	gering
E30 Fischgewässer	Vom KW direkt betroffener Flussabschnitt (bis zum nächsten existierenden Hindernis)	Natürlicherweise ein Fischgewässer oder ein potentiell Fischgewässer (= wahr) oder kein Fischgewässer (= falsch). <i>Beurteilung unabhängig von einer Besatzung</i>	falsch
E31 Source Gebiet	Gebiet, welches direkt betroffen ist (je nach KW Typ und proportional zum Fluss, min. 100 m, Ausleit KW min. 2x Ausleitstrecke)	Source = relevant für Fortpflanzung (Laichgebiet, Aufzucht Fische), Sink = Lebensraum Fische ohne Bedeutung für Fortpflanzung. <i>Nur angeben, ob der Anlagestrandort eine Source ist, im Aspekt Vernetzung wird der Einfluss des KW auf Source Gebiete beurteilt.</i>	Sink
E32 lokale Artenvielfalt	Gebiet, welches direkt betroffen ist (je nach KW Typ und proportional zum Fluss, min. 100 m, Ausleit KW min. 2x Ausleitstrecke)	Biodiversität Flora und Fauna am Standort (z.B: Indikatoren, Rote Liste Arten, Potential auf Grund Qualität Fließgewässer)	mittel
<b>Ökonomische Risiken</b>		<b>Erläuterung Eingabe, Kriterien Bewertung</b>	
E50 potentielle Stromproduktion		sehr hoch = 2000 kW, mittel = 1000 kW, niedrig 500 kW, sehr niedrig 10 kW	sehr hoch
E52 Restwasseranforderungen		Einfluss von Auflagen Restwassermenge auf Stromproduktion. Hoch, wenn mehr als gestz. minimale Menge	niedrig
E53 Erschliessungsgrad		Eingabe bezieht sich auf Aufwand für Erschliessen. Strasse, Nähe zum Trafo. (bereits erschlossen -> niedrig)	niedrig
Einfluss auf Renaturierung		Einfluss auf eine geplante Sanierungsmassnahme, Revitalisierung (Priorität 1)	neutral
<b>Nutzungskonflikte</b>		<b>Erläuterung Eingabe</b>	
Grundwasser / Trinkwasser		Ausmass Konflikt	kein
Sicherheit: Mensch und Infrastruktur (Naturgefahr, Hochwasserschutz)		Ausmass Konflikt	kein
Parzellenbesitzer bei Druckleitungen		Ausmass Konflikt	kein
Lärm (Wohn-, Ferien-, Büro, Gewerbe, Erholung...)		Ausmass Konflikt	kein
Angelfischerei		Ausmass Konflikt	kein
Wassersport / Erholung		Ausmass Konflikt	kein
Bootsfahrt		Ausmass Konflikt	kein
Revitalisierungsplanung		Ausmass Konflikt	kein
Landschaft / Ästhetik		Ausmass Konflikt	hoch
Landwirtschaft, Bewässerung, Landnutzung		Ausmass Konflikt	kein
Industrie und Gewerbe		Ausmass Konflikt	mittel
Abwasser		Ausmass Konflikt	kein
Andere:		Ausmass Konflikt	kein

Abbildung 8: Kriterien der Beurteilung Stufe 1 „Standorteignung“ – ökologischer Wert, Ökonomie, Konflikte



## 5.4 Beschreibung der Kriterien Stufe 2 „Bewertung Anlage“

Ausgehend von den Greenhydro-Kriterien wurde in Zusammenarbeit mit Experten eine angepasste Liste für eine Beurteilung von KWKW erstellt (siehe Abbildung 9). Diese ist auf eine Beurteilung im Vergleich zum IST-Zustand und den Fall einer Renaturierung ausgerichtet, um den Einfluss des Kraftwerkes auf den Zustand des Gewässers adäquat zu bewerten, und gegebenenfalls auch positive Veränderungen ausweisen zu können. Dazu wurde in einem ersten Schritt die Priorität der Greenhydro-Kriterien für eine Bewertung von KWKW mit Experten diskutiert, und in einem zweiten Schritt über die Bewertung des KWKW hinaus für die Beurteilung des IST-Zustandes relevante Aspekte bestimmt. Redundanzen wurden im Rahmen dieser Diskussionen eliminiert, und damit die Kriterien Liste weiter reduziert.

Aus diesen Vorabklärungen ergibt sich folgendes Fazit für die Verwendung von Greenhydro-Kriterien:

- Restwasser: hohe Relevanz für Beurteilung KWKW (vollständige Liste Greenhydro-Kriterien)
- Schwall-Sunk: geringe Relevanz, da es in der Realität kaum KWKW gibt, welche Schwall-Sunk fahren. Falls es Schwall-Sunk gibt, so muss dieser abgemindert werden.
- Stauraum: geringe Relevanz, kein relevanter Speicher bei KWKW (reduzierte Kriterien Liste)
- Geschiebehaushalt: mittlere Relevanz, Neuanlagen erfüllen diverse Kriterien (reduzierte Liste)
- Anlage: mittlere Relevanz, abhängig davon ob es sich um ein Fischgewässer handelt (reduzierte Liste)

Abhängig vom Typ der Anlage und dem Standort ist ein Teil der Kriterien automatisch erfüllt. Für eine Eingabe werden deshalb Eckdaten zum geplanten Typ der Anlage und zum Standort abgefragt, und entsprechend die Auswahl für die Eingabe eingegrenzt (z.B. sind Kriterien zum Thema Restwasser nur relevant für Ausleitkraftwerk, bei Laufwasserkraftwerken sind diese automatisch erfüllt).

Folgende Umweltbereiche werden mit den Greenhydro-Kriterien beurteilt und ermöglichen eine Aussage wie weit die Anforderungen im Hinblick auf den Referenzzustand eines natürlichen Gewässers erfüllt sind: Das Resultat wird als Erfüllungsgrad der Greenhydro-Kriterien dargestellt.

- Hydrologischer Charakter
- Vernetzung des Gewässers
- Feststoffe & Morphologie
- Landschaft und Biotope
- Lebensgemeinschaft

Die Zuordnung der Kriterien und deren Relevanz und Skalierung für die Bewertung der einzelnen Bereiche wurden in Zusammenarbeit mit den Experten bestimmt (Modellstruktur im Anhang B). Die beurteilten Umweltbereiche werden in der Endbewertung des Erfüllungsgrades gleich gewichtet.

Aus der Beurteilung mit den Greenhydro-Kriterien lassen sich Schlussfolgerungen zum IST-Zustand des Gewässers sowie den mit der Anlage verbundenen Auswirkungen ableiten. Erste Ergebnisse ausgewählter Testauswertungen mit den in Tabelle 1: charakterisierten Anlagen sind in Kapitel 5.6 zusammengestellt.



		Zustand beurteilt nach dem idealen Referenzzustand gemäss Greenhydro: Natürlicher Zustand (ohne Anlagen)		
Kriterien Restwasser	Erläuterung Eingabe	Ist Zustand	Projekt-Zustand	Renaturierung
R1 Abflussregime	Variabilität Abflussregime in Restwasserstrecke folgt natürlichem Abflussregime?	naturnah	teilweise	naturnah
R2, R3 Sockelabfluss	Minimaler saisonal angepasster und Zufluss abhängiger Sockelabfluss in Restwasserstrecke nicht unterschritten?	erfüllt	mehrheitlich	erfüllt
R4 Verzahnung	Keine dauerhafte Beeinträchtigung der Verzahnung?	erfüllt	teilweise	erfüllt
R4 Grundwasser	Keine Beeinträchtigung der Grundwassereinspeisung?	erfüllt	erfüllt	erfüllt
R6 Wassertiefe	Wassertiefe für Fischwanderungen und für die Vernetzung mit den Nebengewässern ausreichend?	erfüllt	erfüllt	erfüllt
R7 Struktur Gewässersohle	Erhalt der natürlichen Struktur Gewässersohlen mit Restwassermenge gewährleistet? <i>Durchleit KW Geschiebemanagement Feinstoffe und Sedimente unter G3</i>	weitgehend	weitgehend	weitgehend
R8 Schützenswerte Lebensräume	Restwasserregelung so dass inventarisierte oder schützens-werte Lebensräume in ihrer natürlichen Charakteristik?	erfüllt	erfüllt	erfüllt
R9 inventarisierte Auen	Sonderregelungen Restwasser erfüllt bei inventarisierten Auengebiete im Perimeter?	erfüllt	erfüllt	erfüllt
R10 Artenvielfalt	Restwasserregelung so gestaltet, dass Artenvielfalt gewährleistet? Insbesondere seltene und schützenswerte Arten?	erfüllt	erfüllt	erfüllt
R11 Temperatur Sauerstoff	Innerhalb Restwasserstrecke keine für Lebensgemeinschaften kritischen Verhältnisse Temperatur, Sauerstoff, Selbstreinigung ?	kein Einfluss	möglich	kein Einfluss
<b>Kriterien Schwall Sunk</b>	<b>Erläuterung Eingabe</b>			
SS1 Abflussschwankungen, SS2 Trockenfallen, SS3 Temperatur	Schäden Benthos und Fischfauna vermeidbar: SS1 Schwankung während Laichzeiten, Wanderzeiten / SS2 Trockenfallen der Restwasserstrecke / SS3 kritische Temperaturschwankungen?	kein Effekt	geringer Effekt	kein Effekt
SS4 Isolation Fische	Keine Isolation Fische und des Benthos ausserhalb des Hauptgerinnes?	erfüllt	erfüllt	erfüllt
SS5 Habitatvielfalt	Schwall und Sunk gedämpft, so dass Habitatvielfalt und Landschaftselemente erhalten bleiben?	erfüllt	erfüllt	erfüllt
SS6 Auenschutz	Sonderregelungen für Auenschutz erfüllt bei Auen im Perimeter	erfüllt	erfüllt	erfüllt
SS7 Fischhabitats	Schwall und Sunk gedämpft, so dass Fischhabitats nicht unwiderruflich verloren und Artenzusammensetzung erhalten bleibt. Keine Störung Laichplätze?	erfüllt	erfüllt	erfüllt
<b>Kriterien Stauraum</b>	<b>Erläuterung Eingabe, Schutzziel das erfüllt wird</b>			
S1, S2, S3 Störfaktoren Stauraum	Einfluss des Stauraumes auf die Hydrologie, Störfaktoren?	kein	minimal	kein
S5 Staakoten	Schwankungen im Staubereich gefährden keine ökologisch bedeutende Uferbereiche oder deren Vernetzung?	erfüllt	erfüllt	erfüllt
S6 Naturnahe Gestaltung Stauraum	Naturnahe Gestaltung des Stauraumes und Vernetzung der Seitengewässer?	erfüllt	erfüllt	erfüllt
S7 Kolmation nach Spülung	Keine Kolmation nach Spülung des Stauraumes?	erfüllt	erfüllt	erfüllt
S8 Geschiebetransport	Geschiebetransport durch den Stauraum gewährleistet?	erfüllt	erfüllt	erfüllt
S9 Verlandung Stauraum	Verlandungen im Staubereich sollen als Ausgleichsflächen zugelassen werden. Gestaltung als eigenes Habitat?	erfüllt	erfüllt	erfüllt
S10 Inventarisierte Auen	Spezielle Schutzanforderungen bei Auengebieten erfüllt?	erfüllt	erfüllt	erfüllt
S11 Schwebstoffe Temperatur	Spülung Stauraum ohne kritische Sauerstoffverhältnisse, Temperaturen oder Schwebstofffrachten?	keine	keine	keine
<b>Kriterien Anlage</b>	<b>Erläuterung Eingabe</b>			
A1 Hochwasserentlastung	Hochwasserentlastung realisierbar bzw. steuerbar, so dass kein sprunghafter Anstieg?	natürlich	naturnah	natürlich
A3 Freie Fischwanderung	Ermöglicht Anlagengestaltung eine freie Fischwanderung ? Verglichen mit natürlichem Zustand.	kein Fischgewässer	kein Fischgewässer	kein Fischgewässer
A4 Geschiebetaugliches Wehr	Ist das Wehr geschiebетаuglich?	erfüllt	erfüllt	erfüllt
A5 Schützenswerte Lebensräume	Keine Neubauten in inventarisierten oder besonders schützenswerten Flächen? Optimale Integration Anlagen in schützenswerte Lebensräume?	kein Schutzbedarf	gut integrierter alter Standort	kein Schutzbedarf
A7 Schutz der Arten	Schutz der Arten vor Bau und Anlage entspricht Stand Technik?	erfüllt	mehrheitlich	mehrheitlich
<b>Kriterien Geschiebe</b>	<b>Erläuterung Eingabe</b>			
G1 Geschiebetrieb bei Hochwasser	Gewährleistet der Abfluss unterhalb der Fassung Transport Geschiebe während Hochwasser und Verlagerungen (Ufererosion und Bankbildung)? <i>Ausgeschlossen Hochwasserschutzzone. Relevant für grobes Geschiebe</i>	erfüllt	erfüllt	erfüllt
G3-1 Feststoffhaushalt gewässertypisch, Kolmation	Entwicklung Gewässertypischer Morphologie	erfüllt	erfüllt	erfüllt
G3-2 Feststoffhaushalt gewässertypisch	Entwicklung Gewässertypischer Morphologie	erfüllt	erfüllt	erfüllt
G4 Feststoffhaushalt	Feststoffhaushalt in Restwasserstrecke, so dass gewässertypische Morphologie?	erfüllt	erfüllt	erfüllt
G6 Gefälle im Unterwasser	Gefälle im Unterwasser ausreichend für Geschiebetransport (ausbaggern nur falls für Hochwasserschutz erforderlich)?	erfüllt	erfüllt	erfüllt

Abbildung 9: Kriterien der Beurteilung Stufe 2 „Anlage“



## 5.5 Stufe 1 – Testergebnisse Beurteilung Standort

Die Standortwahl von sieben unterschiedlichen KWKW, mit einer Leistung zwischen 15 und 7000 MW, wurden einer Beurteilung mit der 1. Stufe des Modells unterzogen und einem Worst- und Best-Case Szenario gegenübergestellt.

Die nachfolgende Zusammenstellung beschreibt die analysierten Standorte der Testauswertung.

	<b>Region, Zustand Gewässer</b>	<b>Standort Details</b>	<b>vorgesehene Nutzung</b>
Anlage A:	Alpin, natürlich	Skigebiet, 2. Nutzung Wasser	Ausleit-KW: < 10 MW
Anlage B:	Mittelland, wenig verbaut	Fischgewässer, bestehendes Wehr, Standort Ausleitung	Durchlauf KW: < 10 MW
Anlage C:	Alpin, natürlich	Wandergebiet, nahe Schutzzone	Ausleit-KW: < 10 MW
Anlage D:	Voralpin, naturnah bis wenig verbaut	Fischgewässer, im Inventar der Naturobjekte von regionaler Bedeutung, Entwicklungsgebiet UNESCO	Ausleit-KW: < 10 MW
Anlage E:	Mittelland, naturnah	Renaturierungsgebiet, Fischgewässer	Wirbelstrom KW: < 50 kW
Anlage F:	Mittelland, wenig bis stark verbaut	Fischgewässer, bestehende Staustufe nicht fischgängig	Durchlauf-KW: < 300 kW
Anlage G:	Jura, wenig bis stark verbaut	Bestehendes Wehr nicht fischgängig, Standort Ausleitung Kanalwerk	Durchlauf-KW: < 1 MW
Worst-Case:	Unspezifisch	Fischgewässer, naturnah, innerhalb Schutzzone, weitere Nutzungsinteressen	Unspezifisch: < 50 kW
Best-Case:	Unspezifisch	Kein Fischgewässer, geringer ökologischer Wert, keine weiteren Nutzer	Unspezifisch: < 10 MW

**Tabelle 1: Charakterisierung der Anlagen, mit denen die Auswertungen gemacht wurden.**

Datengrundlagen wurden zu den sieben Standorten recherchiert, oder von Experten aus Planungsbüros und von Anlagenbetreibern zur Verfügung gestellt (Auswertung anonymisiert). Die Resultate einer ersten groben Analyse zeigen die folgenden beiden Abbildungen 10 und 11. Diese Beurteilung zeigt die ökologischen und ökonomischen Risiken. Je höher die Werte sind, desto kritischer ist eine Realisierung bzw. desto höher ist der Aufwand, um bei der Realisierung den ökologischen Ansprüchen zu genügen. Im Rahmen dieser Testreihe wurden eher kritische Standorte (Anlage D: Potentielles Schutzgebiet, relevantes Fischgewässer) und andererseits positive Beispiele beurteilt (Anlage F und G: Standort bestehender Schwelle oder Staustufe mit Potential zur Wiederherstellung der Fischgängigkeit beim Bau KWKW).

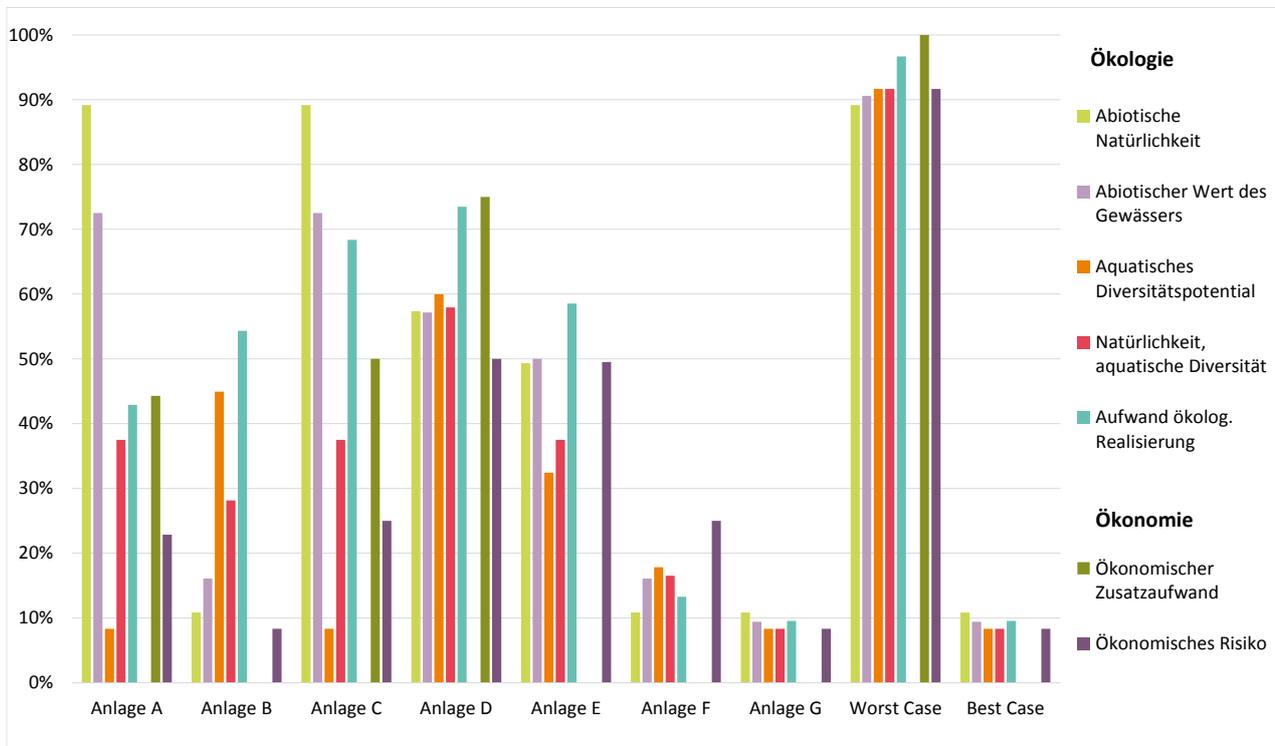


Abbildung 10: Detaillierte Resultate der einzelnen Teilaspekte der Bewertung Stufe 1. Je höher der Wert, desto grösser das Risiko und der Aufwand einer Realisierung.

Abbildung 11 zeigt das Endresultat in Form einer Empfehlung, ob das Projekt weiterverfolgt werden soll. Dabei werden die Ergebnisse in drei Klassen eingeteilt:

- **Grün:**  
Das Projekt kann weiterverfolgt werden, da es auf Grund der ersten Beurteilung plausibel erscheint, dass eine ökologische Realisierung möglich ist und keine relevanten Interessenskonflikte auftreten.
- **Orange:**  
Das Projekt kann kritisch sein. Die Aufwände für eine ökologische Realisierung und zur Lösung von Konflikten werden voraussichtlich hoch sein.
- **Rot:**  
Die Weiterverfolgung des Projektes kann nicht empfohlen werden, da der Aufwand für die ökologische Realisierung voraussichtlich sehr hoch sein wird, oder Nutzungskonflikte nur mit sehr grossem Aufwand und starken Einschränkungen lösbar sind.

Es ist zu beachten, dass die Grenzen zwischen den Klassen provisorisch gesetzt worden sind, und in der zweiten Phase des Projektes mit Experten vertieft diskutiert werden müssen.

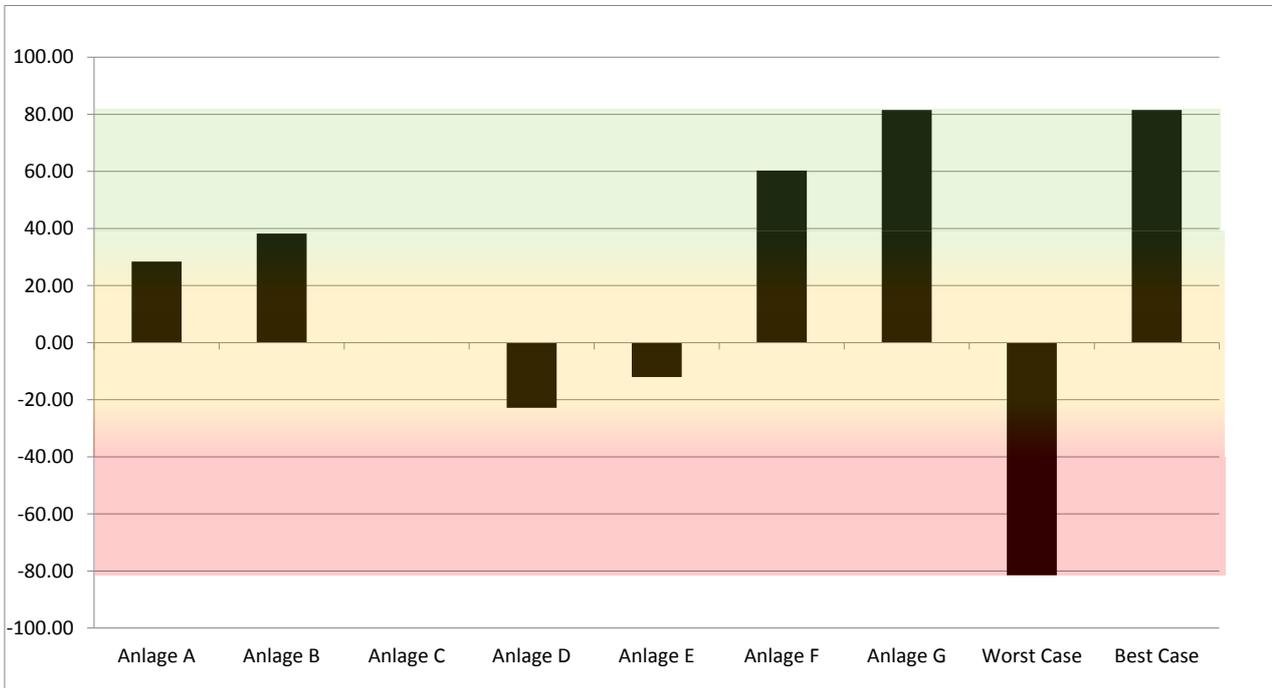


Abbildung 11: Endresultat der Standort Bewertung Stufe 1

Die Resultate dieser Bewertung wurden mit Experten diskutiert. Sie wurden grundsätzlich als plausibel und für eine Erstbewertung als hilfreich erachtet.

Neben den Modelltests, welche in Abbildung 11 dargestellt sind, wurden zwei weitere Anlagen mit den Betreibern besprochen und die Kriterien für die Bewertung diskutiert:

- Bei der ersten Anlage handelte es sich um ein Kleinstwasserkraftwerk <10kW in einem künstlich gebauten bereits bestehenden Kanal. Hier hat es sich gezeigt, dass die Standortwahl für ein KWKW aus ökologischer und sozialer Sicht auch positiv sein kann. Dies ist zum Beispiel der Fall, wenn mit dem Bau ein bestehender Konflikt oder ein Problem gelöst wird (z.B. Lärm oder Hochwasserschutz). Die Kosten für den Bau, Unterhalt und Betrieb der Anlage waren jedoch nur mit KEV knapp tragbar.
- Bei der zweiten Anlage handelt es sich um ein Ausleitkraftwerk (ca. 500 kW). Die Beurteilung durch die Behörde war in diesem Fall nicht eindeutig. Deren Einschätzung hat sich in der Zeit zwischen Einreichung und Entscheidung über das Baugesuch stark geändert und gleichzeitig waren Renaturierungsmaßnahmen geplant, die mit grosser Wahrscheinlichkeit nur langfristig umgesetzt werden. Auch andere Aspekte, die eine Entscheidung über den Bau des KWKW stark beeinflussen würden, waren von den zuständigen Behörden noch nicht entschieden. Die unklare Situation der Bewertung führte zu mehreren Szenarien, sodass es kein eindeutiges Ergebnis ergab.

In der zweiten Phase des Projektes werden für die Feinjustierung und Kalibrierung des Modelles weitere KWKW beurteilt und die Resultate mit Experten besprochen.



## 5.6 Stufe 2 - Testergebnisse Beurteilung Anlagen

Die 2. Beurteilungsstufe wurde ebenfalls an verschiedenen Anlagen getestet und dazu dieselbe Auswahl KWKW wie für die Bewertung der Standorte in der Stufe 1 verwendet.

Die nachfolgende Zusammenstellung beschreibt die analysierten Anlagen der Testauswertung.

	Region, Zustand Gewässer	Typ Anlage	Details der Eingabe, Veränderung IST-Zustand
Anlage A:	Alpin, natürlich	Ausleit-KW: < 10 MW	Kein Fischgewässer, Regelung Restwassermenge mit zweitem Nutzer kritisch, minimaler Stauraum, kein Schwall-Sunk
Anlage B:	Mittelland, wenig verbaut, Wehr	Durchlauf KW: < 10 MW,	Aufwertung bestehendes Wehr mit Staubereich, kein Schwall-Sunk, Einbau Fischpass mit Bau Anlage, Verbesserung Geschiebegängigkeit (Kriterien Restwasser bei Durchlauf KW automatisch erfüllt)
Anlage C:	Alpin, natürlich	Ausleit-KW: < 10 MW,	Restwasser im gesetzlichen Rahmen, kleiner Staubereich Ausleitung, kein Schwall-Sunk, kein Fischgewässer
Anlage D:	Voralpin, natur-nah bis wenig verbaut	Ausleit-KW: < 10 MW;	Restwassermenge gemäss gesetzlichen Vorgaben, kein Stauraum, kein Schwall-Sunk, Anforderung Fischgängigkeit und Geschiebegängigkeit gemäss gesetzlichen Vorgaben.
Anlage E:	Mittelland, natur-nah	Wirbelstrom KW: < 50 kW	Kein Stauraum und Schwall-Sunk, Anforderung Fischgängigkeit und Geschiebegängigkeit gemäss gesetzlichen Vorgaben.
Anlage F:	Mittelland, wenig bis stark verbaut, Wehr	Durchlauf KW: < 300 kW,	Aufwertung bestehendes Wehr mit Staubereich, Einbau Fischpass mit Bau Anlage, kein Schwall-Sunk, Verbesserung Geschiebegängigkeit
Anlage G:	Jura, wenig bis stark verbaut, Wehr	Durchlauf KW: < 1 MW	Ersatz Ausleit KW und Aufwertung bestehendes Wehr mit Staubereich, Einbau Fischpass, kein Schwall-Sunk, Verbesserung Geschiebegängigkeit
Nichts erfüllt (Worst-Case)	Nicht definiert	Ausleit-KW, < 50 kW	Anlage mit relevantem Stauraum, Schwall-Sunk und ungenügend Restwasser, nicht geschiebegängig und nicht fischgängig
Teilweise erfüllt	Nicht definiert	Ausleit-KW, < 10 MW	Anlage mit minimale Stauraum, teilweise Erfüllung Kriterien Stauraum, Schwall-Sunk, Restwasser etc.
Alles erfüllt (Best-Case)	Nicht definiert	Kein KW	Alle Kriterien vollständig erfüllt

**Tabelle 2: Charakterisierung der Anlagen, mit denen die Auswertungen gemacht wurden.**

Beurteilt wurde der Erfüllungsgrad der ausgewählten Greenhydro-Kriterien. Je höher der Wert, desto näher liegt das Ergebnis am natürlichen Zustand. Pro Anlage wurde jeweils der IST-Zustand vor dem Bau, der



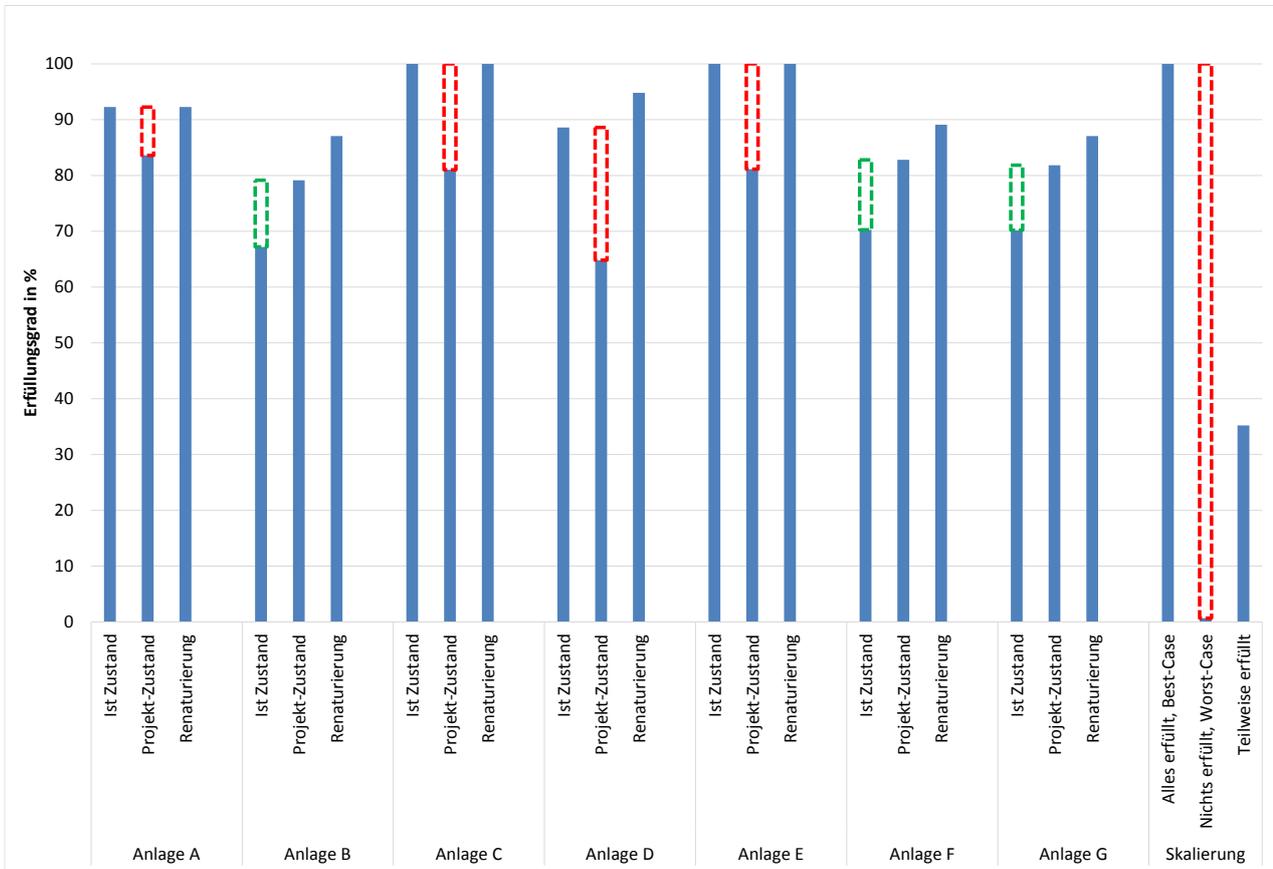
Projektzustand mit Anlage sowie der erwartete Zustand nach einer Renaturierung oder Sanierung verglichen<sup>2</sup>. Für die Skalierung wurden zusätzliche Szenarien Worst-Case, Best-Case und teilweise Erfüllung sämtlicher Kriterien aufgeführt. Die Differenz der Ergebnisse ist die massgebende Information, die aus der Bewertung hervorgehoben wird (rot dargestellt negative Veränderungen gegenüber dem IST-Zustand, grün positive Veränderungen). Die Resultate dieser Bewertung sind in Abbildung 12 gezeigt. Detailresultate zu einzelnen Aspekten der Bewertung werden separat ausgewiesen und sind Abbildung 13 für das Beispiel der Anlage G dargestellt.

Eine positive Bilanz ergibt sich bei den Beispielen, bei denen eine bestehende Schwelle oder Staustufe genutzt, und mit der Wiederherstellung der Fischgängigkeit und der Verbesserung der Geschiebegängigkeit gegenüber dem IST-Zustand eine Aufwertung erfolgt (Anlagen F und G). Das Schadensausmass der übrigen analysierten Kraftwerke ist verhältnismässig gering, da es sich um neuere Beispiele handelt, und die Mehrheit der Kriterien mit den gesetzlichen Regelungen erfüllt wird (kein Schwall-Sunk, wenig Stauraum, Geschiebegängigkeit, Restwasserregelungen). Negative Beispiele älterer Anlagen mit Schwall-Sunk Problemen, Unterschreitungen der Restwassermengen oder mit grösseren Speichern wurden nicht analysiert. Mit den revidierten gesetzlichen Anforderungen wird das Ausmass der Schadwirkung bereits signifikant reduziert.

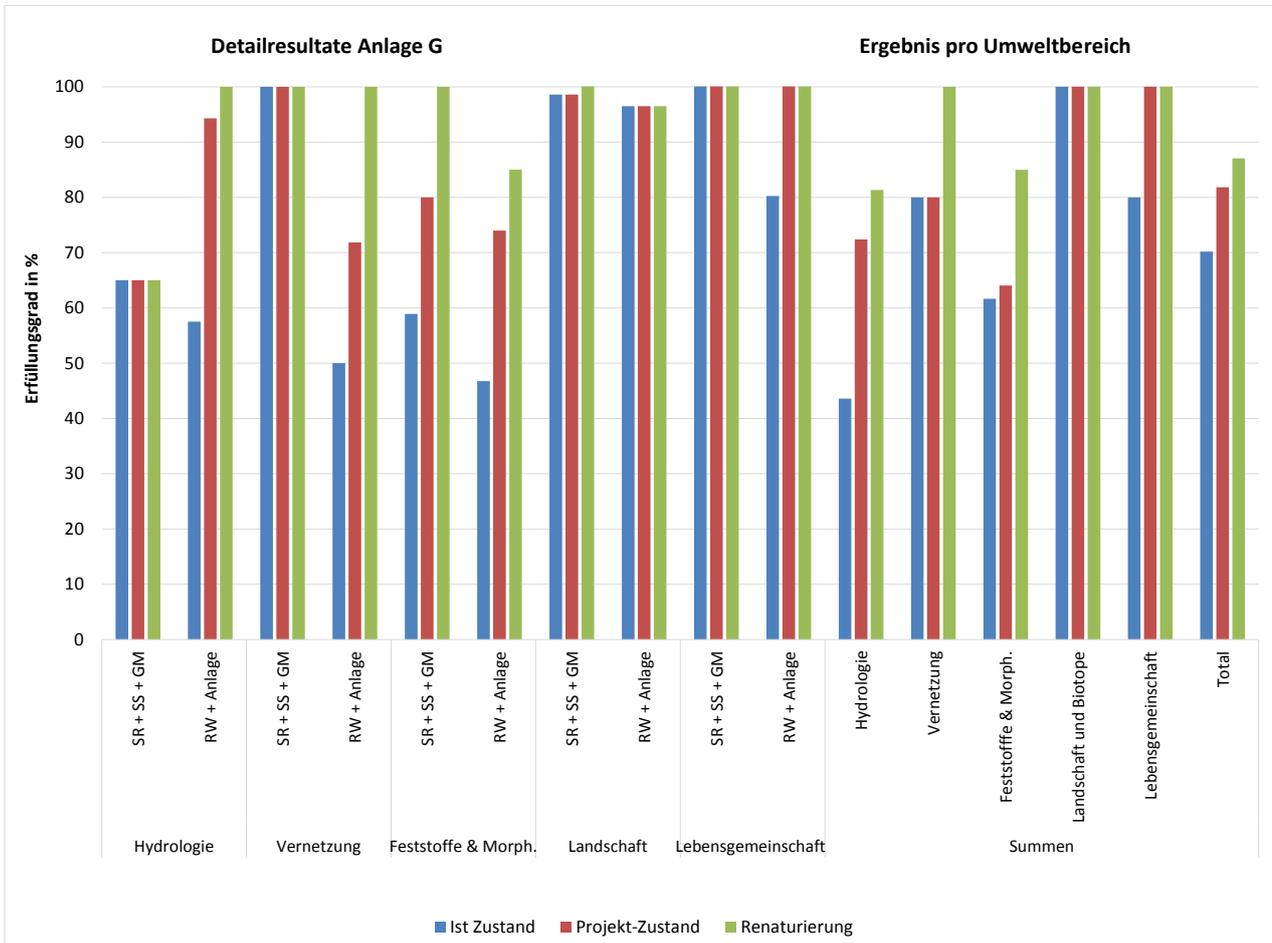
Aus den Detailresultaten der Bewertung in Abbildung 13 lassen sich Rückschlüsse zu der Bewertung unterschiedlicher Kriterien ziehen. Die Ergebnisse der dargestellten Anlage G zeigen die mit der Anlage erzielten positiven Veränderungen gegenüber dem IST-Zustand. Anstelle eines Ausleitkraftwerkes wurde an der Staustufe ein Durchlaufkraftwerk realisiert und dabei die Geschiebe- und Fischgängigkeit verbessert.

---

<sup>2</sup> Der mit einer Renaturierung oder Sanierung erwartete Zustand konnte im Rahmen des Testlaufes nicht vollständig erfasst und bewertet werden.



**Abbildung 12:** Endresultat der Bewertung der Anlagen in der 2. Stufe. Beurteilung des Erfüllungsgrades anhand der ausgewählten Greenhydro-Kriterien (rot Schadensausmass WKW im Vergleich zum IST-Zustand, grün potentielle Aufwertung des Ist-Zustandes durch WKW)



**Abbildung 13:** Detailresultate der Anlage G in der Bewertungsstufe 2. Linker Hand Detailergebnisse der Bewertung Restwasser und Anlagen (RW + Anlagen) sowie der Bewertung Stauraum, Schwall-Sunk und Geschiebemanagement (SR + SS + GM). Rechter Hand Endergebnis und Ergebnis pro Umweltkriterium nach greenhydro.

Bei den weiteren mit Betreibern der Anlagen diskutierten KWKW wurden ebenfalls die Kriterien der Bewertung besprochen. Das beschriebene Kleinstkraftwerk < 10 KW ist naturemade star zertifiziert. Die Greenhydro-Kriterien, die bei der Modellierung für KWKW als relevant eingeschätzt wurden, waren in der Greenhydro-Relevanzmatrix sehr ähnlich angegeben. Da am Standort des verwendeten Kanals ursprünglich kein Gewässer existierte und der Kanal sehr naturfremd gebaut wurde, führt der Bau des KWKW dank der Fisch-terpe auch in diesem Fall zu einer deutlichen ökologischen Verbesserung der Gewässerstrecke.

Die im Rahmen des Testlaufs besprochenen und analysierten Anlagen zeigen nicht das ganze Spektrum des möglichen Schadensausmasses auf. Für eine weitere Justierung und Optimierung der Skalierung sind für die zweite Phase des Projektes weitere Tests mit älteren, problematischen und abgelehnten Anlagen vorgesehen.



## 6 Diskussion

Die Modellierungsergebnisse wurden mit Experten, welche die Kraftwerke und den Zustand des Ökosystems kennen, diskutiert. Gemäss diesen Experten sind die Resultate plausibel und für eine Erstbewertung bei der Planung sinnvoll. Die Beurteilungsstufe 1 zeigte nach der Kalibrierung mit existierenden Anlagen differenzierte Ergebnisse, welche hilfreich sind, um zu entscheiden, ob eine Weiterentwicklung des Projektes mit grossen Risiken verbunden ist und daher eher nicht empfohlen werden kann. Zudem zeigen die detaillierten Resultate, wo kritische Aspekte sind, welche bei einer Weiterentwicklung ein spezielles Augenmerk bedürfen. Die Beurteilungsstufe 2 zeigt das Ausmass der Veränderungen gegenüber dem IST-Zustand auf und ermöglicht Rückschlüsse auf die dabei relevanten Einflussgrössen.

Bei der Bewertung der Stufe 2 waren die Unterschiede zwischen den getesteten Anlagen weniger signifikant als erwartet. Bei der Bewertung wurde angenommen, dass die Bedingungen für das korrekte Management der Anlage erfüllt sind. Der geringe Unterschied liegt unter anderem daran, dass der Fokus auf kritische Standorte und nicht auf kritische Anlagen gelegt wurde. Mit der Auswahl der Testanlagen wurde das mögliche Schadensausmass nicht abgedeckt. In der zweiten Phase soll deshalb mit weiteren Analysen von älteren und problematischen Anlagen die Modellierung weiter justiert werden. Da bei KWKW gewisse Aspekte wie z.B. ein saisonaler Stauraum gar nicht auftreten, wird die mögliche Spannweite der Ergebnisse reduziert:

- KWKW sind in fast allen Fällen Laufkraftwerke. Alle Kriterien, die Speicherkraftwerke betreffen, sind damit automatisch erfüllt.
- Mit den heute bestehenden gesetzlichen Regelungen ist der Schwall-Sunk Betrieb gesetzlich festgelegt und dadurch abgemindert. Es wird angenommen, dass Neuanlagen die Kriterien für Schwall-Sunk mehrheitlich erfüllen.
- Ebenfalls wurden gesetzlich festgelegte minimale Restwassermengen im FST Modell als Ausgangslage für Neuanlagen vorausgesetzt – die Einhaltung jedoch nicht positiv bewertet.

Ebenso entscheidend wie die «absolute» Bewertung auf der Basis von Greenhydro sind die ökologischen Veränderungen, welche sich durch die Realisierung des betreffenden KWKW ergeben. Aus diesem Grund wird jeder Standort bei der 2. Stufe der Bewertung im Vergleich zum IST-Zustand und bei Bedarf im Vergleich zum Zustand nach einer Renaturierung beurteilt. Die Unterschiede der Bewertung sind bezüglich des Einflusses des KWKW aussagekräftig.

Bei der Modellierung der Stufe 1 erwarten wir keine wesentlichen Anpassungen bei der Justierung in der zweiten Projektphase. Jedoch wird es notwendig sein, jedes Kriterium möglichst genau zu beschreiben, um möglichst objektive und eindeutige Antworten der Experten, die die Eingabemaske ausfüllen, zu erhalten. Ein Workshop mit Experten ist vorgesehen um die Varianz der Eingabe möglichst klein zu halten, und die Skalen für jedes Kriterium zu prüfen. Eventuell gibt es auch Überlappungen oder Unterscheidungen zwischen den gesetzlichen Anforderungen und den Nutzungskonflikten. Gerade im Bereich Revitalisierung und Schutz- und Nutzungsstrategie können Gesetze nicht genügend eindeutig sein, oder nicht vollständig mit dem berechneten ökologischen Wert übereinstimmen.

In der Stufe 2 sind weitere Bearbeitungsschritte zur Kalibrierung des Modells vorgesehen. Ausserdem sind weitere Testanalysen und Diskussionen mit Experten geplant, welche zu einer Verfeinerung der Eingabe und des Modells führen können.



## 7 Schlussfolgerungen zum Einsatz der FST

Aufgrund der Testanalysen und Ergebnisse, und den dabei geführten Expertengesprächen, erscheint die Verwendung der FST eine geeignete Methode zu sein, um mit geringem Aufwand den Einfluss von KWKW auf die lokale Ökologie einschätzen zu können und dabei auch Kostenaspekte miteinzubeziehen. Der Aufwand wird auf 1 bis 2 Tage plus Ortsbesuch (falls notwendig) geschätzt. Dies gilt für die ganze Schweiz und ist nicht an Technologien gebunden. Für eine objektive und effiziente Verwendung des Tools ist die Eindeutigkeit der Referenz, Skala und Fragstellung essentiell. Ausserdem sollte der Experte, der die Bewertung durchführt, sowohl Zugang zu vertieftem Wissen über die lokale Situation, und ein themenübergreifendes Verständnis des Systems haben.

Die Stufe 1 kann von Planern ausgefüllt werden, sofern sie diese Informationen mit Verantwortlichen der Behörden und einem Gewässer-Experten absprechen. Stufe 2 sollte in erster Linie von einem Experten in aquatischer Ökologie ausgefüllt werden, der den Standort entweder kennt, oder eine Besichtigung durchführen konnte. Dabei ist zu beachten, dass Experten, welche sich nur auf ein spezifisches Thema z.B. Fische oder Hydrologie fokussiert haben, zu den anderen Aspekten nur beschränkt gute Einschätzungen abgeben können. Ggf. müssen weitere Experten beigezogen werden. Durch eine eindeutige Erklärung der Fragen soll dieser Problematik begegnet werden.

Wie jede Bewertung widerspiegelt die Beurteilung auf der Basis dieser FST Modellierung den momentanen Kenntnisstand und die sich daraus ergebenden Einschätzungen. Im Laufe des Bewilligungsverfahrens können sich die Grundlagen ändern, wie z.B. der Stand der Technik, die Einschätzung der Behörden, oder Verordnungen oder die Zuteilung eines Standortes zu einem Schutzgebiet. In diesem Fall müssen die Ergebnisse aktualisiert werden.

Sollte es bei gewissen Fragen Zweifel geben, weil beispielsweise wichtige Entscheide noch nicht gefällt wurden, ermöglicht das FST Tool, mit wenig Aufwand verschiedene Szenarien aufzuzeigen. So kann die Relevanz von Meinungsunterschieden oder bis jetzt ungeklärten Fragen hervorgehoben werden. Beispiel: „Wie ändert die Empfehlung der Stufe 1, wenn das Gewässer vom Kanton mit einer Renaturierung neu als sehr schützenswert oder aufgrund einer Revision der Bestimmungen zur Wasserkraft neu als nutzungsfähig eingestuft wird?“

Beim Ausfüllen des Tools ist die Einstellung der bewertenden Person wichtig. Entsprechend besteht die Gefahr, dass die Beurteilung tendenziös ausfallen kann. Wir erachten diese Gefahr als eher klein, da z.B. ein Planer eines KWKW, unabhängig von seinen eigenen Interessen, bestrebt ist, mit der Auswertung, möglichst früh einzuschätzen, ob eine vertiefte Planung hohe oder geringe Chancen einer Umsetzung hat. Die Meinung unterschiedlicher betroffener Akteure ist in der Beurteilung vertreten. Verschönerungen oder Übertreibungen führen zu einer Verzögerung des Bewilligungsverfahrens oder des Abbruchs des Projektes. Sollten verschiedene Experten ein Projekt mit dem Tool anders auswerten, und mit unterschiedlichen Ergebnissen argumentieren, ermöglicht das Tool mit den Detailanalysen, die Differenzen klar zu identifizieren, und schnell auf die wichtigsten Konflikte zu fokussieren.



## 8 Ausblick und Umsetzung Phase B

Die Projektphase „Forschung und Entwicklung“ des Projektes „Entscheidungshilfe für die ökologische Standortwahl von Kleinwasserkraftwerken“ hat gezeigt, dass die Modellierung mit Hilfe der FST ein sinnvoller Ansatz für eine schnelle, zuverlässige und effiziente Ersteinschätzung der ökologischen Verträglichkeit von KWKW-Projekten in der Schweiz ist. Insbesondere bei Kleinanlagen ist der Bedarf für die Effizienzsteigerung des Bewilligungsverfahrens essentiell, um eine generelle Ablehnung aller Anlagen zu vermeiden.

Der in diesem Bericht präsentierte Modellentwurf soll in der zweiten Phase mit weiteren Tests überprüft und verfeinert werden. Anschliessend soll das Modell benutzerfreundlich gestaltet, und die abgefragten Kriterien sowie deren Beantwortung möglichst klar definiert werden. Damit soll erreicht werden, dass die Beurteilung für den Experten eindeutig ist, und nicht davon abhängt, wie der Experte die Frage versteht. Dies ist auch notwendig damit die Resultate eindeutig interpretiert werden können.

Nach dieser Verfeinerung soll mit Schulungen an der Einführung des Tools unter den betroffenen Akteuren gearbeitet werden. Das Tool soll öffentlich verfügbar sein und Informationen darüber verbreitet werden. Dies kann sowohl mit Faktenblättern, Zeitschriftartikeln wie auch im Rahmen von Konferenzen oder Schulungen stattfinden.

Das Thema KWKW bleibt ein stark diskutiertes Thema. In gewissen Kreisen sind KWKW ein Tabu, wobei umgekehrt Betreiber den Aufwand für eine ökologische Realisierung und die damit verbundenen Kosten oft unterschätzen. Ziel des Tools ist es, anhand dieser konkreten Methode eine gemeinsame Basis für Diskussionen und Argumentationen bereitzustellen. Das Tool wurde mit Experten verschiedener Meinungsrichtungen entwickelt, und beinhaltet wesentliche Argumente der Gegner und der Befürworter von KWKW. Das Entscheidungsinstrument ist weder Standort noch Technologie gebunden und erlaubt es verschiedene Szenarien aufzuzeigen. Es ist erstrebenswert, das Tool auch als gemeinsame Grundlage für die Koordination zwischen Umwelt- und Energiebehörden zu verwenden. Die Wasserkraft befindet sich an der Schnittstelle zwischen Themen wie Gewässer-Revitalisierung, Sanierungen bestehender KWKW sowie den Energiestrategien von Bund und Kantonen.



## 9 Referenzen

- Amt für Umweltkoordination und Energie des Kantons Bern. (2010). *Beurteilung von Projekten für Kleinwasserkraftwerke (< 10 MW) aus Sicht der Nachhaltigen Entwicklung*. Kanton Bern.
- Amt für Wasser und Abfall. (2010). *Wassernutzungsstrategie 2010 des Kantons Bern*. Bern.
- BAFU, BFE, & ARE. (2011). *Empfehlung zur Erarbeitung kantonaler Schutz- und Nutzungsstrategien im Bereich Kleinwasserkraftwerke*. Bern.
- Bratrich, C., Truffer, B., Känel, B., & Vollenweider, S. (2001). *Ökostrom-Zertifizierung für Wasserkraftanlagen: Konzepte, Verfahren, Kriterien*. Kastanienbaum: EAWAG, Projekt Ökostrom.
- Bundesamt für Umwelt (BAFU). (2011). *Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fliessgewässer - Hydrologie – Abflussregime Stufe F (flächendeckend)*. Bern.
- Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. (2012). *Österreichischer Wasserkatalog Wasser schützen – Wasser nutzen - Kriterien zur Beurteilung einer nachhaltigen Wasserkraftnutzung*. Wien, Österreich.
- BUWAL. (1998a). *Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fliessgewässer in der Schweiz Modul-Stufen- Konzept*. Bern.
- BUWAL. (1998b). *Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fliessgewässer in der Schweiz Ökomorphologie Stufe F (flächendeckend)*. Bern.
- Convenzione delle Alpi. (2011). LINEE GUIDA COMUNI PER L'USO DEL PICCOLO IDROELETTRICO NELLA REGIONE ALPINA. Österreich.
- France Hydroélectricité, ADEME, & ISL. (2011). *Vers la centrale hydroélectrique du XXIème siècle* (p. FR).
- Gewässerschutzgesetz, GSchG, Pub. L. No. 814.20 (2015)
- Hemund, C. (2012). *Methodik zur ganzheitlichen Beurteilung des Kleinwasserkraftpotentials in der Schweiz*. Universität Bern.
- Ripl, W., & im Auftrag von EUROSOLAR e.V: (2004). *Studie zur ökologischen Bewertung von kleinen Wasserkraftanlagen*.
- Schweizerische Eidgenossenschaft. *Energiegesetz, 7683* (2016).
- Tannò, G.-A., Strupp, C., Buser, C., & Hintermann, M. (n.d.). *KLEINWASSERKRAFT Planung und Verfahren Leitfaden für Bauherren*. Bern: EnergieSchweiz, Bundesamt für Energie BFE.
- Wasseragenda21, BAFU, & BFE. (2012). *Übersicht über kantonale Strategien und Werkzeuge zur Nutzung der Wasserkraft*.
- WWF Schweiz und Pro Natura. (2008, July 7). *Kriterienkatalog für ökologische Wasserkraftwerke*.
- Zelenakova, M., Zvijakova, L., & Purcz3, P. (2013). *Small Hydropower Plant – Environmental Impact Assessment – Case Study*. International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering, (Volume 3 Special Issue 4).



## Anhang

### A Beschreibung FST Modell: Standort Bewertung Stufe 1

#### A1 Systemstruktur FST Modell - Stufe 1

Auf der folgenden Seite ist die Systemstruktur der Bewertung dargestellt. In den nachfolgenden Kapiteln Anhang A2 und A3 sind ergänzend dazu die Definitionen der Eingänge und Ausgänge zusammengestellt. Die Eingänge für die Bewertung werden über die Eingabemaske in Abbildung 7 und Abbildung 8 erstellt und umfassen:

- Eingänge für die Bewertung des ökologischen Wertes (Variablen E10-E32)
- Eingänge für die Zugehörigkeit zu Schutzzonen, Schutzgebiete und Schutzobjekte und damit verbundene Mehraufwände einer ökologischen Realisierung (Variable E40)
- Eingänge für die Bewertung ökonomischer Risiken (Variablen E50-E53)

Die Ausgänge (Variablen O11 bis O51) sind auf die Bewertung der oben genannten Aspekte ausgerichtet. Detailergebnisse einzelner Ausgänge sowie das Endergebnis werden in Tabellen zusammengefasst und gemäss den Abbildungen in Kapitel 5.5 dargestellt.



>Eingänge

>Ausgänge

>Summierung Endergebnis

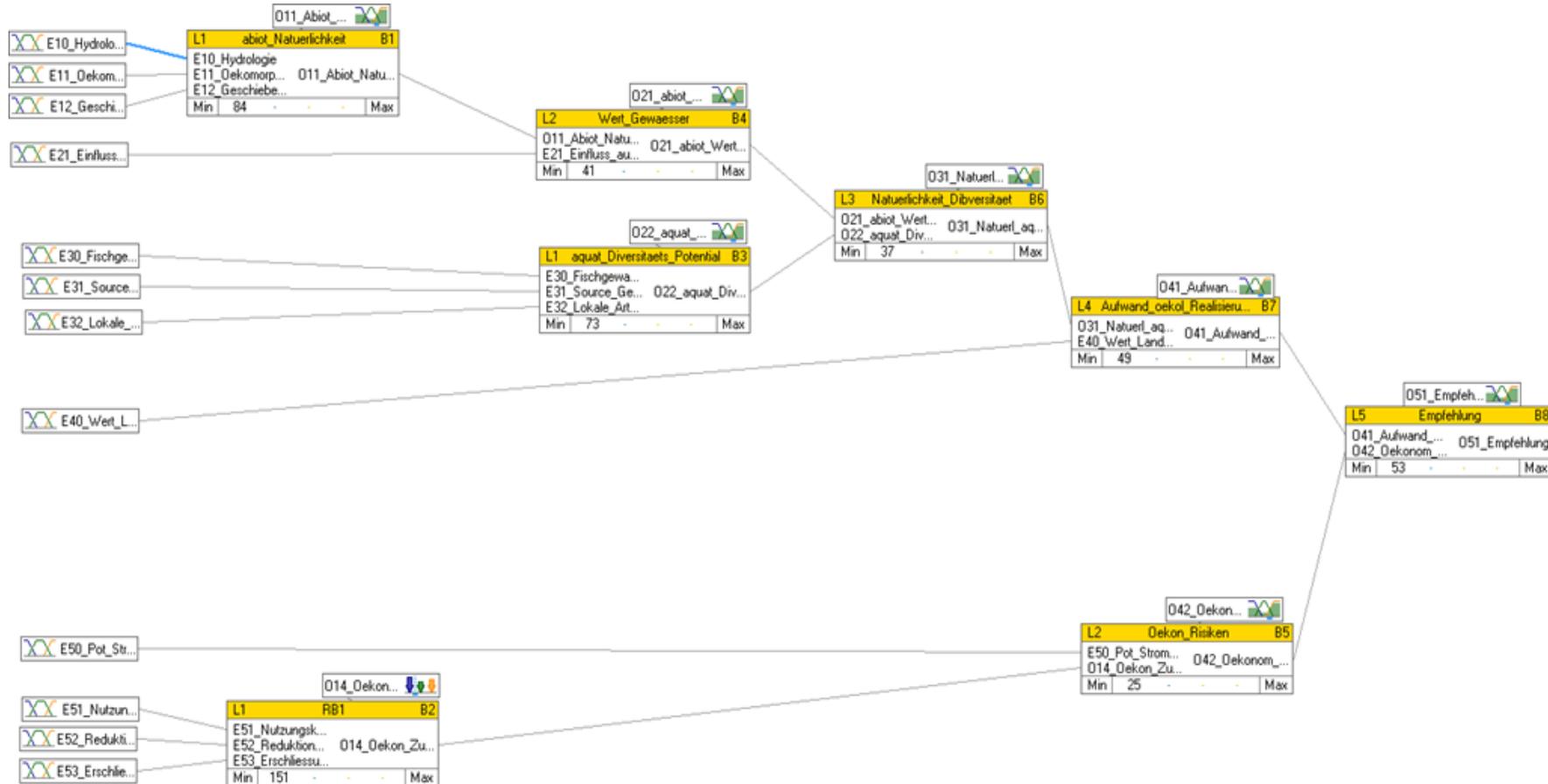


Abbildung 1: Modellstruktur des Fuzzy Logic-Systems (Variablen: E = Eingänge, O = Ausgänge)



## A2 Definition Variablen „Eingänge“ – Eingabe Stufe 1

	Variablenname	Erläuterung	Typ	Einheit	Min	Max	Default	Termname (Eingabe)
	E10_Hydrologie	Natürlichkeit, Vielfalt			0	1	0.5	niedrig mittel hoch
	E11_Oekomorphologie	Natürlichkeit, Vielfalt			0	1	0.5	niedrig mittel hoch
	E12_Geschiebe_Feststoffe	Natürlichkeit			0	1	0.5	niedrig mittel hoch
	E21_Einfluss_auf_Vernetzung	Einfluss des Gewässerabschnittes auf andere Gewässer, Grundwasser, Fischgängigkeit			0	1	0.5	kein gering mittel gross sehr gross
	E30_Fischgewaesser	Handelt es sich um ein Fischgewässer oder nicht			0	1	0.5	falsch wahr
	E31_Source_Gebiet	Rolle des Gewässerabschnittes für die Fortpflanzung (Source = Laichgebiet, Aufzuchtgebiet)			0	1	0	Sink Übergang Einfluss auf Source potentielle Source Wichtige Source
	E32_Lokale_Artenvielfalt	Aktuell vorhandene lokale Artenvielfalt			0	1	0	kaum wenig mittel gut sehr gut
<b>Schutzziele</b>	E40_Wert_Landschaftsraum	Resultat der Eingabe und Klassierung Schutzzonen/-gebiete und -objekte			0	1	0	Kein Schutzgebiet gering Mittel schwierig sehr schwierig no go
	E50_Pot_Strom_Prod	Potentielle Leistung der Anlage		kW	10	2000	10	sehr niedrig niedrig mittel hoch sehr hoch
	E51_Nutzungskonflikt	Resultat Potential Nutzungskonflikt (Eingabe zu unterschiedlichen Aspekten)			0	1	0.5	sehr niedrig niedrig mittel hoch sehr hoch



Variablenname	Erläuterung	Typ	Einheit	Min	Max	Default	Termname (Eingabe)
E52_Reduktion_Restw_Fische	Einfluss von Auflagen Restwassermenge auf Stromproduktion			0		0.5	niedrig mittel hoch
E53_Erschliessungsgrad	Erwarteter Aufwand für das Erschliessen			0		0.5	niedrig mittel hoch

Tabelle 3: Variablen der Gruppe "Eingänge"

### A3 Definition Variablen „Ausgänge“ - Ergebnis Stufe 1

Variablenname	Erläuterung	Typ	Einheit	Min	Max	Default	Termname (Ausgang)
O11_Abiot_Natuerlichkeit	abiotische Natürlichkeit des Gewässerabschnittes (ökologischer Wert)			0		0.5	sehr niedrig niedrig mittel hoch sehr hoch
O14_Oekon_Zusatz_Aufw	Ökonomischer Zusatz Aufwand			0		0.5	sehr niedrig niedrig mittel hoch sehr hoch
O21_abiot_Wert_Gewaesser	abiotische Natürlichkeit und Vernetzung des Gewässers (ökologischer Wert)			0		0	sehr niedrig niedrig mittel hoch sehr hoch
O22_aquat_Diversitaets_Potential	aquatische Diversitätspotential (ökologischer Wert)			0		0	sehr niedrig niedrig mittel hoch sehr hoch
O31_Natuerl_aquat_Div	natürliche aquatische Diversität (ökologischer Wert)			0		0	sehr niedrig niedrig mittel hoch sehr hoch
O41_Aufwand_oekol_Realisierung	Aufwand einer ökologischen Realisierung			0		0	sehr niedrig niedrig mittel hoch sehr hoch No Go
O42_Oekonom_Risiko	Ökonomisches Risiko der Realisierung			0		0	sehr niedrig niedrig



Variablenname	Erläuterung	Typ	Einheit	Min	Max	Default	Termname (Ausgang)
						1	mittel hoch sehr hoch
O51_Empfehlung	Empfehlung zur Standortwahl (Endergebnis)		Prozent	-100		0	nicht weiterverfolgen eher nicht Eventuell eher weiterverfolgen weiterverfolgen
					100		

Tabelle 4: Variablen der Gruppe "Ausgänge"

A4 Zugehörigkeitsfunktion der Variablen „Eingänge“ – Stufe 1



Abbildung 2: Zugehörigkeitsfunktion der Variable "E10\_Hydrologie"

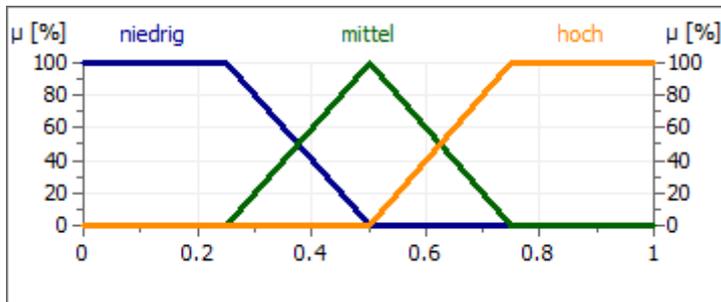


Abbildung 3: Zugehörigkeitsfunktion der Variable "E11\_Oekomorphologie"

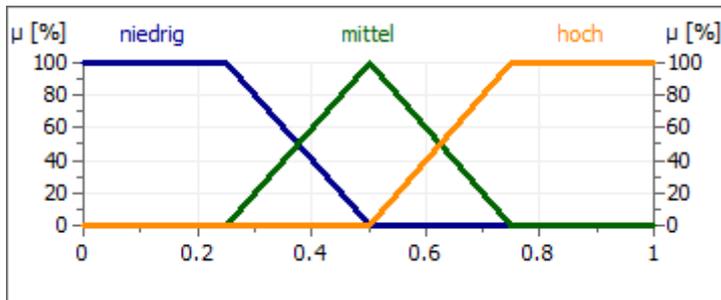


Abbildung 4: Zugehörigkeitsfunktion der Variable "E12\_Geschiebe\_Feststoffe"

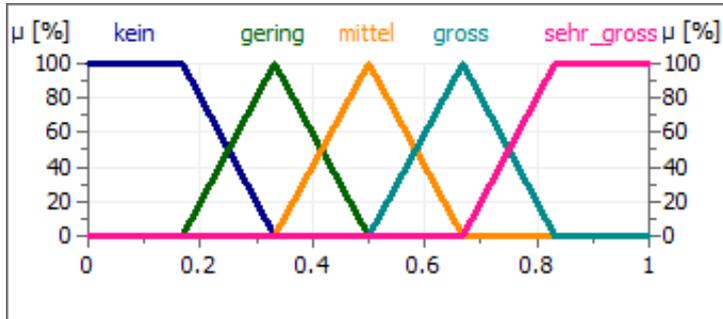


Abbildung 5: Zugehörigkeitsfunktion der Variable "E21\_Einfluss\_auf\_Vernetzung"

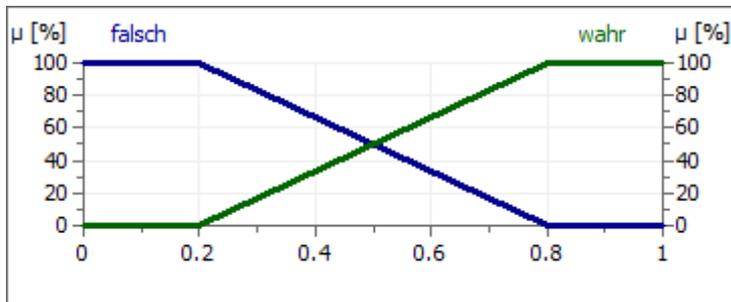


Abbildung 6: Zugehörigkeitsfunktion der Variable "E30\_Fischgewaesser"

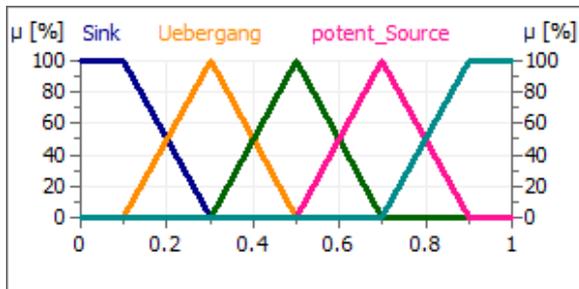


Abbildung 7: Zugehörigkeitsfunktion der Variable "E31\_Source\_Gebiet"

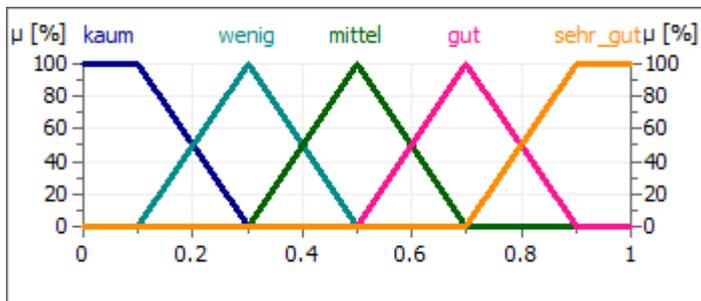


Abbildung 8: Zugehörigkeitsfunktion der Variable "E32\_Lokale\_Artenvielfalt"

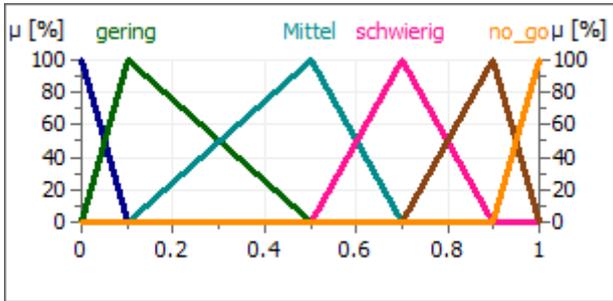


Abbildung 9: Zugehörigkeitsfunktion der Variable "E40\_Wert\_Landschaftsraum"

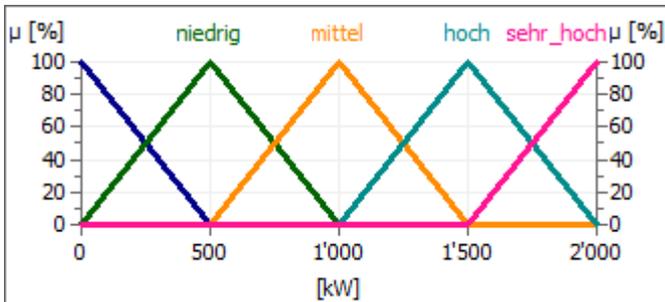


Abbildung 10: Zugehörigkeitsfunktion der Variable "E50\_Pot\_Strom\_Prod"

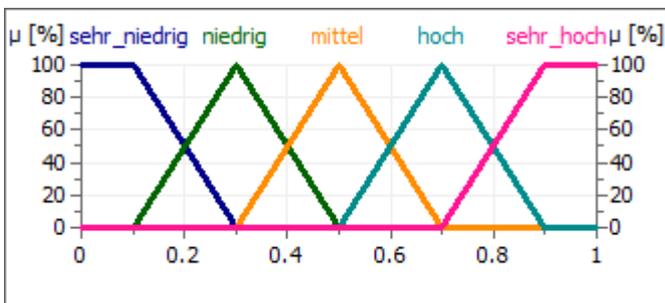


Abbildung 11: Zugehörigkeitsfunktion der Variable "E51\_Nutzungskonflikt"

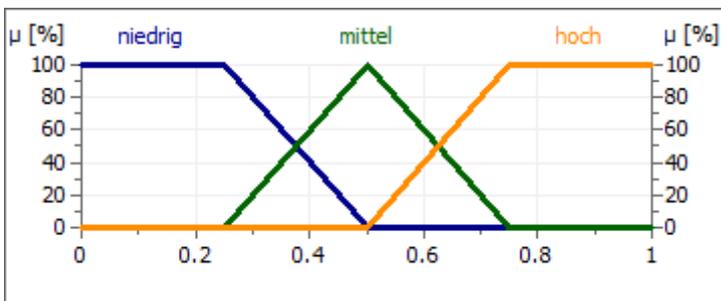


Abbildung 12: Zugehörigkeitsfunktion der Variable "E52\_Reduktion\_Restw\_Fische"

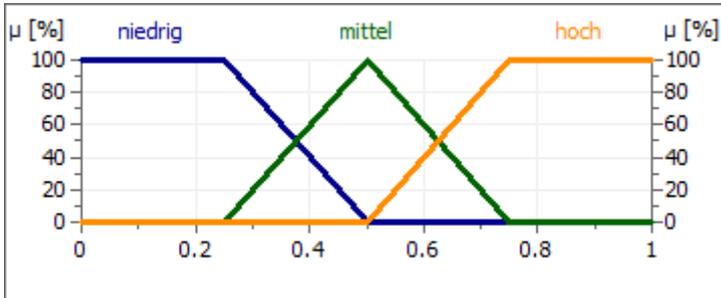


Abbildung 13: Zugehörigkeitsfunktion der Variable "E53\_Erschliessungsgrad"

### A5 Zugehörigkeitsfunktion der Variablen „Ausgänge“ – Stufe 1

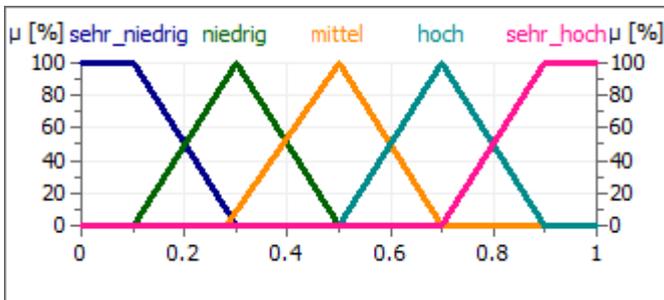


Abbildung 14: Zugehörigkeitsfunktion der Variable "O11\_Abiot\_Natuerlichkeit"

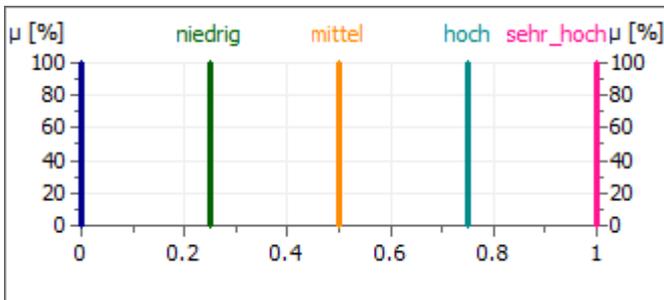


Abbildung 15: Zugehörigkeitsfunktion der Variable "O14\_Oekon\_Zusatz\_Aufw"

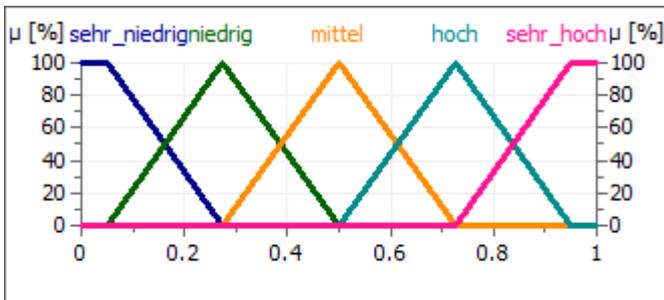


Abbildung 16: Zugehörigkeitsfunktion der Variable "O21\_abiot\_Wert\_Gewaesser"



Abbildung 17: Zugehörigkeitsfunktion der Variable "O22\_aquat\_Diversitaets\_Potential"

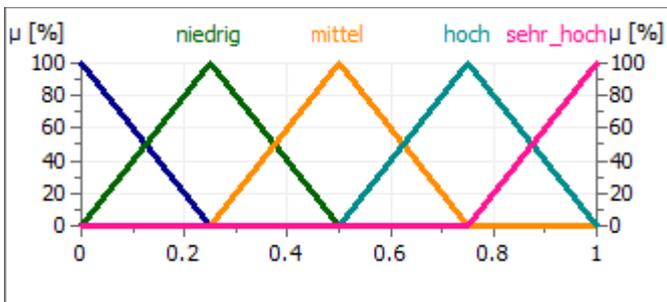


Abbildung 18: Zugehörigkeitsfunktion der Variable "O31\_Natuerl\_aquat\_Div"

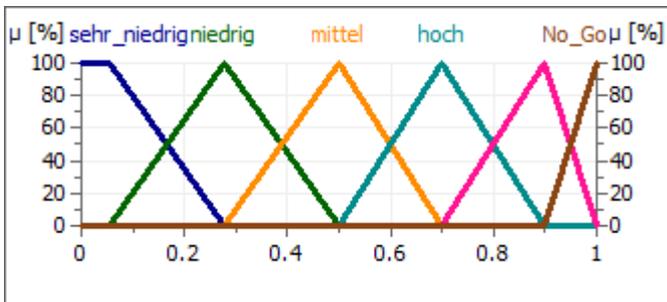


Abbildung 19: Zugehörigkeitsfunktion der Variable "O41\_Aufwand\_oekol\_Realisierung"

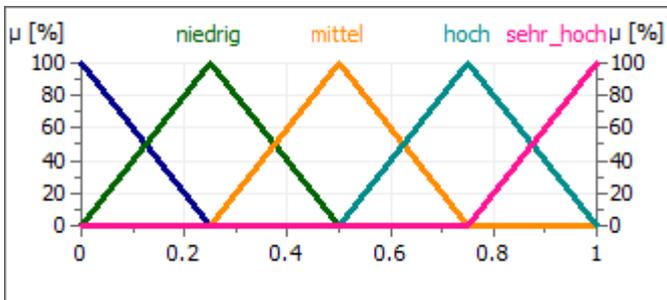


Abbildung 20: Zugehörigkeitsfunktion der Variable "O42\_Oekonom\_Risiko"

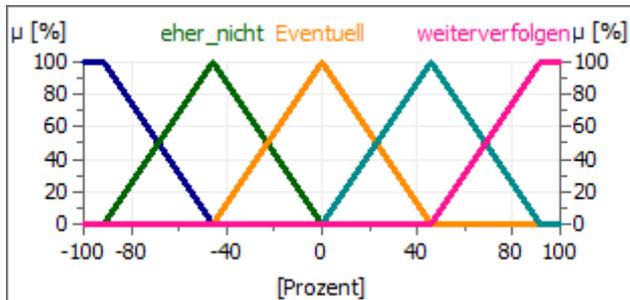


Abbildung 21: Zugehörigkeitsfunktion der Variable "O51\_Empfehlung"

## A6 Regelblöcke - Stufe 1

Das Verhalten des Reglers in den verschiedenen Prozesssituationen wird durch die Regelblöcke festgelegt. Jeder einzelne Regelblock enthält Regeln für einen festen Satz von Eingangs- und Ausgangsvariablen.

Der "wenn"-Teil der Regeln beschreibt dabei die Situation, in der die Regel gelten soll, der "dann"-Teil die Reaktion hierauf. Durch den "Degree of Support" (DoS) kann hierbei den einzelnen Regeln ein unterschiedliches Gewicht gegeben werden.

Zur Auswertung der Regeln wird zuerst der "wenn"-Teil berechnet. Hierbei können verschiedene Verfahren eingesetzt werden, die durch den Operatortyp des Regelblocks festgelegt sind. Der Operator kann vom Typ MIN-MAX, MIN-AVG oder GAMMA sein. Das Verhalten des Operators wird zusätzlich durch eine Parametrierung beeinflusst.

Beispielsweise:

MIN-MAX, mit dem Parameterwert 0 = Minimum-Operator (MIN).

MIN-MAX, mit dem Parameterwert 1 = Maximum-Operator (MAX).

GAMMA, mit dem Parameterwert 0 = Produkt-Operator (PROD).

Der Minimum-Operator ist die Verallgemeinerung des booleschen 'und' und der Maximum-Operator ist die Verallgemeinerung des booleschen 'oder'.

Die Ergebnisse der einzelnen Regeln werden bei der anschliessenden Fuzzy-Composition zu Gesamtschlussfolgerungen zusammengefasst. Die BSUM-Methode betrachtet hierbei alle für einen Zustand feuernden Regeln, während die MAX-Methode nur dominante Regeln berücksichtigt.

Auf eine Zusammenstellung aller Regeln wird verzichtet, da das Modell einige Hundert regeln umfasst. Die Regelblöcke wurden mit Hilfe von Expertenaussagen definiert.



## B Beschreibung FST Modell: Anlagebewertung Stufe 2, GreenHydro basiert

### B1 Systemstruktur FST Modell - Stufe 2

Auf der folgenden Seite ist die Systemstruktur für die Bewertung der Anlage in der Stufe 2 dargestellt. Definitionen der Variablen „Eingänge“ und „Ausgänge“ sind nachfolgend im Anhang B2 und B3 zusammengestellt. Eingänge werden für den IST-Zustand und für den Zustand mit dem Bau der Anlage anhand der Eingabemaske in Abbildung 9 bestimmt. Diese umfassen ausgewählte Greenhydro-Kriterien zum Thema Restwasser (R), Schwall-Sunk (SS), Stauraum (SR), Anlage (A) und Geschiebe (G).

Die Bewertung des Erfüllungsgrades in den verschiedenen Umweltbereichen erfolgt schrittweise mit der dazu definierten Gruppierung der Variablen und Berechnung Zwischenvariablen im Anhang B4. Das Ergebnis wird für den Ist-Zustand und den Zustand mit der Anlage ausgewiesen und der Erfüllungsgrad im Vergleich zum IST-Zustand gemäss den Abbildungen in Kapitel 5.6 dargestellt.

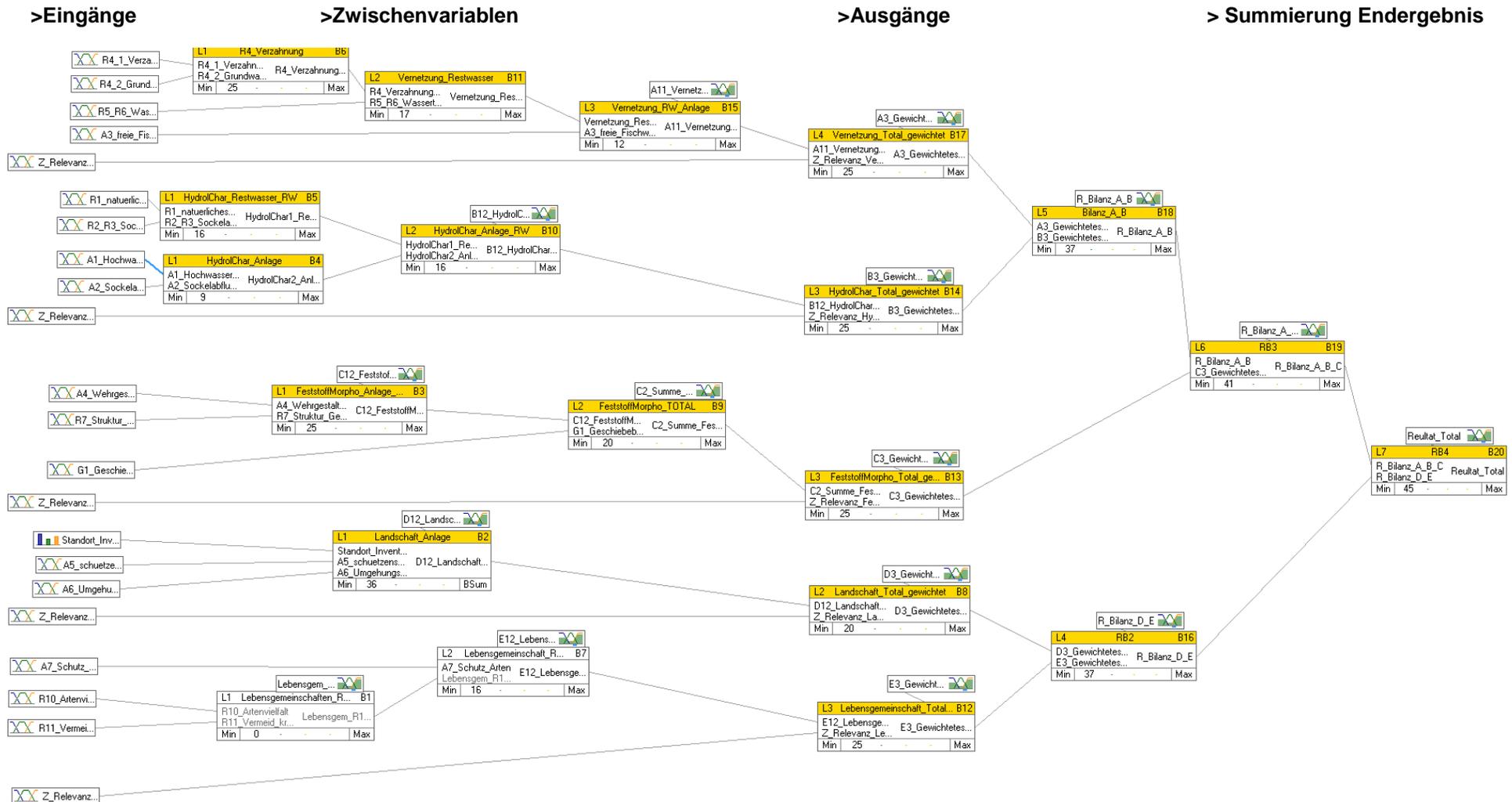


Abbildung 22: Struktur des Fuzzy Logic-Systems, Stufe 2



## B2 Definition der Variablen „Eingänge“ – Eingabe Stufe 2

Variablenname	Typ	Einheit	Min	Max	Default	Termnamen (Eingabe)
A1_Hochwasserentlastung			0	1	0	steuerbar beschränkt_steuerbar sprunghaft
A2_Sockelabfluss_in_RW			0	1	0	erfüllt technisch_machbar nicht
A3_freie_Fischwanderung			0	1	0	Umgehungsmöglichkeiten_o_kein_Fischgewässer Technische_Lösung keine_Lösung
A4_Wehrgestaltung_geschiebetauglich			0	1	0	erfüllt_o_kein_Wehr machbar teilweise schlecht nicht
A5_schützenswerte_Lebensräume			0	1	0	erfüllt_o_kein_besonderer_Schutzbedarf optimal_integriert_alter_Standort nicht_erfüllt_Schutz_prioritär
A6_Umgehungsgerinne_zusätzliche_Habitat			0	1	0	erfüllt mehrheitlich teilweise nicht
A7_Schutz_Arten			0	1	0	erfüllt mehrheitlich teilweise nicht
G1_Geschiebebetrieb_Hochwasser			0	1	0	erfüllt_o_kein_Geschiebe ausreichend_Geschiebe teilweise schlecht nicht
R1_natürliches_Abflussregime			0	1	0	unbeeinflusst naturnah teilweise nicht
R10_Artenvielfalt			0	1	0	erfüllt_o_kein_Schutzbedarf mehrheitlich teilweise untersritten
R11_Vermeid_krit_Temp_O2_Kapazität			0	1	0	niedrig halb_niedrig halb_hoch hoch
R2_R3_Sockelabfluss				1		erfüllt



Variablenname	Typ	Einheit	Min	Max	Default	Termnamen (Eingabe)
			0		0	mehrheitlich teilweise unterschriften
R4_1_Verzahnung		Prozent	0	100	0	erfüllt weitgehend akzeptabel schlecht nicht
R4_2_Grundwasser		Prozent	0	100	0	erfüllt weitgehend mittel schlecht nicht
R5_R6_Wasser- tiefe_und_Isolation		Prozent	0	100	0	erfüllt mehrheitlich teilweise nicht
R7_Struktur_Gewäs- sersohle			0	1	0	erfüllt mehrheitlich teilweise schlecht nicht
Standort_Inven- tar_Schutzzone		-	-	-	-	keine Schutzzone nahe Schutzzone Abstrom innerhalb Schutzzone
Z_Relevanz						<i>Möglichkeit der Gewichtung der Umweltbereiche, wurde bis jetzt nicht verwendet bzw. alle Bereiche gleich gewichtet.</i>

**Tabelle 5: Variablen der Gruppe "Eingänge"**

### B3 Definition der Variablen „Ausgänge“ – Ergebnis Stufe 2

Variablenname	Typ	Einheit	Min	Max	Default	Termnamen
A11_Vernetzung_RW_An- lage		Prozent	-9	110	0	nicht schlecht teilweise weitgehend erfüllt
A3_Gewichtetes Resul- tat_Vernetzung			-10	110	0	very_low low medium high very_high
B12_HydroChar RW_Anlage		Prozent	-9		0	nicht schlecht teilweise



Variablenname	Typ	Einheit	Min	Max	Default	Termnamen
				110		weitgehend erfüllt
B3_Gewichtetes Resultat_HydrolChar			-10	110	0	very_low low medium high very_high
C12_FeststoffMorpho_Anlage_RW		Prozent	-9	110	0	nicht schlecht teilweise mehrheitlich erfüllt
C2_Summe_FeststoffeMorpho			-9	110	0	nicht schlecht teilweise mehrheitlich erfüllt
C3_Gewichtetes Resultat_FeststoffMorpho			-10	110	0	very_low low medium high very_high
D12_Landschaft_Anlage_RW		Prozent	-9	110	0	nicht teilweise weitgehend erfüllt
D3_Gewichtetes Resultat_Landschaft			-9	110	0	very_low low medium high very_high
E12_Lebensgemeinschaft_RW_Anlage		Prozent	-9	110	0	nicht schlecht teilweise mehrheitlich erfüllt
E3_Gewichtetes Resultat_Lebensgemeinschaft			-9	110	0	very_low low medium high very_high
Lebensgem_R10_R11			0	1	0	sehr niedrig mittel hoch sehr hoch
R_Bilanz_A_B			0		0	sehr niedrig niedrig



Variablenname	Typ	Einheit	Min	Max	Default	Termnamen
				1		mittel hoch sehr hoch
R_Bilanz_A_B_C			0	1	0	sehr niedrig niedrig mittel hoch sehr hoch
R_Bilanz_D_E			0	1	0	sehr niedrig niedrig mittel hoch sehr hoch
Resultat_Total			0	1	0	sehr niedrig niedrig mittel hoch sehr hoch

**Tabelle 6:** Variablen der Gruppe "Ausgänge"



## B4 Verwendete Zwischenvariablen und Gruppierung „Eingänge“

Die nachfolgenden Zwischenvariablen wurden zur Summierung unterschiedlicher Eingänge verwendet. Im Anschluss daran ist die Zuordnung Eingänge thematisch für die Bewertung der Umweltbereiche gruppiert.

### Zwischenvariablen

Variablenname	Typ	Einheit	Min	Max	Default	Termnamen
HydroChar1_Restwasser		-	-	-	-	erfüllt_o_kein_RW mehrheitlich teilweise nicht
HydroChar2_Anlage		-	-	-	-	erfüllt mehrheitlich teilweise nicht
R4_Verzahnung_Grundwasser		-	-	-	-	erfüllt weitgehend teilweise nicht
Vernetzung_Restwasser		-	-	-	-	erfüllt weitgehend teilweise nicht

**Tabelle 7: Variablen der Gruppe "Zwischenvariablen"**

### Eingänge Vernetzung

Variablenname	Typ	Einheit	Min	Max	Default	Termnamen
R5_R6_Wassertiefe_und_Isolation		Prozent	0	100	0	erfüllt mehrheitlich teilweise nicht
R4_2_Grundwasser		Prozent	0	100	0	erfüllt weitgehend mittel schlecht nicht
R4_1_Verzahnung		Prozent	0	100	0	erfüllt weitgehend akzeptabel schlecht nicht

**Tabelle 8: Variablen der Gruppe "Eingänge Vernetzung"**



### Eingänge Hydrologischer Charakter

Variablenname	Typ	Einheit	Min	Max	Default	Termnamen
R2_R3_Sockelabfluss	XX		0	1	0	erfüllt mehrheitlich teilweise unterschriften
R1_natürliches_Abflussregime	XX		0	1	0	unbeeinflusst naturnah teilweise nicht
A2_Sockelabfluss_in_RW	XX		0	1	0	erfüllt technisch machbar nicht
A1_Hochwasserentlastung	XX		0	1	0	steuerbar beschränkt steuerbar sprunghaft

**Tabelle 9: Variablen der Gruppe "Eingänge HydrologChar"**

### Eingänge Feststoffe und Morphologie

Variablenname	Typ	Einheit	Min	Max	Default	Termnamen
G1_Geschiebebetrieb_Hochwasser	XX		0	1	0	kein Geschiebe ausreichend Geschiebe teilweise schlecht nicht
R7_Struktur_Gewässersohle	XX		0	1	0	erfüllt mehrheitlich teilweise schlecht nicht
A4_Wehrgestaltung_geschiebetauglich	XX		0	1	0	Kein Wehr machbar teilweise schlecht nicht

**Tabelle 10: Variablen der Gruppe "Eingänge Feststoffe Morphologie"**



### Eingänge Landschaft und Biotope

Variablenname	Typ	Einheit	Min	Max	Default	Termnamen
A5_schützenswerte_Lebensräume			0	1	0	erfüllt kein besonderer Schutzbedarf optimal integriert alter Standort nicht erfüllt Schutz prioritär
A6_Umgehungsgerinne_zusätzliche_Habitats			0	1	0	erfüllt mehrheitlich teilweise nicht

Tabelle 11: Variablen der Gruppe "Eingänge Landschaft Biotope"

### Eingänge Lebensgemeinschaften

Variablenname	Typ	Einheit	Min	Max	Default	Termnamen
A7_Schutz_Arten			0	1	0	erfüllt mehrheitlich teilweise nicht
R10_Artenvielfalt			0	1	0	erfüllt oder kein Schutzbedarf mehrheitlich teilweise untersritten

Tabelle 12: Variablen der Gruppe "Eingänge Lebensgemeinschaften"

### B5 Zugehörigkeitsfunktionen Variablen – Stufe 2

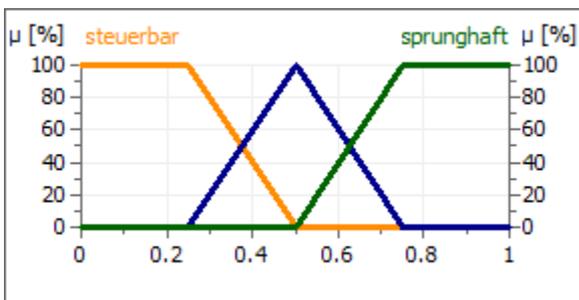


Abbildung 23: Zugehörigkeitsfunktion der Variable "A1\_Hochwasserentlastung"

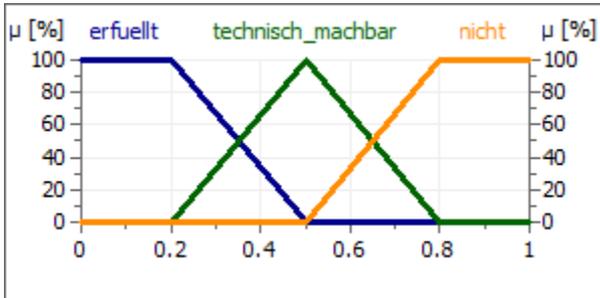


Abbildung 24: Zugehörigkeitsfunktion der Variable "A2\_Sockelabfluss\_in\_RW"

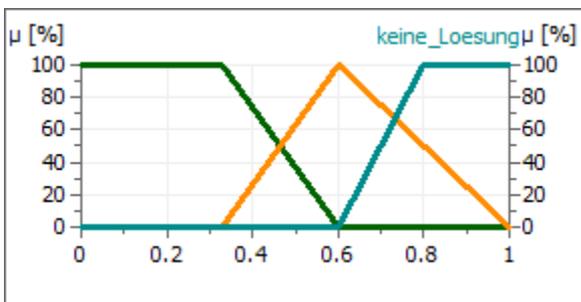


Abbildung 25: Zugehörigkeitsfunktion der Variable "A3\_freie\_Fischwanderung"

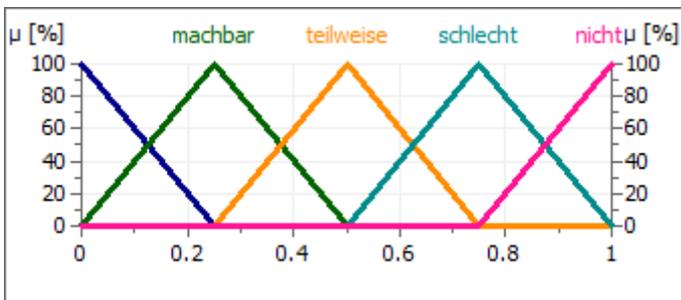


Abbildung 26: Zugehörigkeitsfunktion der Variable "A4\_Wehrgestaltung\_geschiebetauglich"

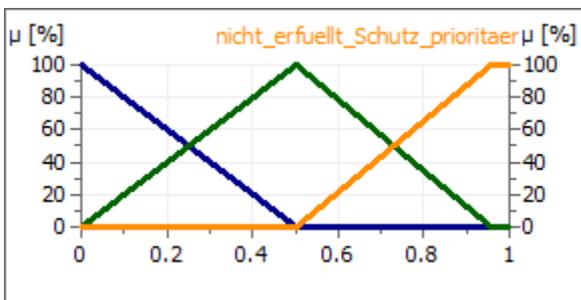


Abbildung 27: Zugehörigkeitsfunktion der Variable "A5\_schützenswerte\_Lebensräume"

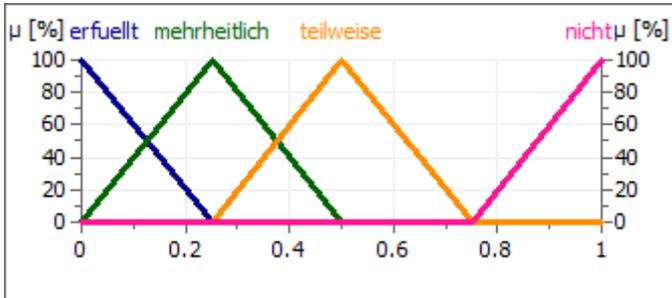


Abbildung 28: Zugehörigkeitsfunktion der Variable "A6\_Umgehungsgerinne\_zusätzliche\_Habitate"

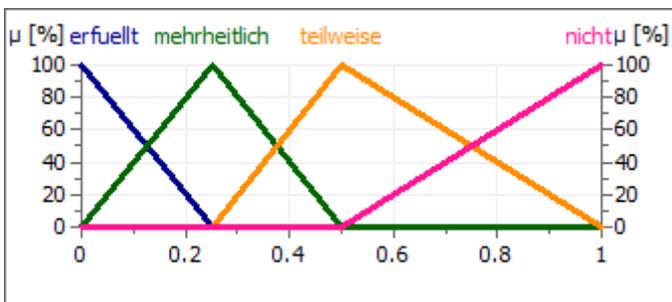


Abbildung 29: Zugehörigkeitsfunktion der Variable "A7\_Schutz\_Arten"

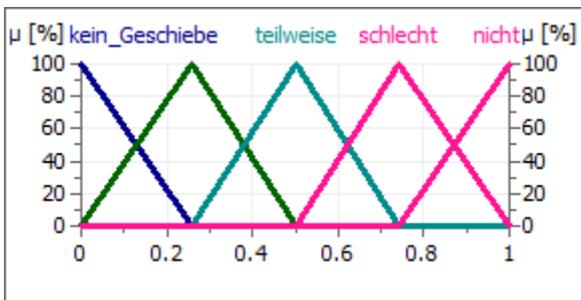


Abbildung 30: Zugehörigkeitsfunktion der Variable "G1\_Geschiebebetrieb\_Hochwasser"

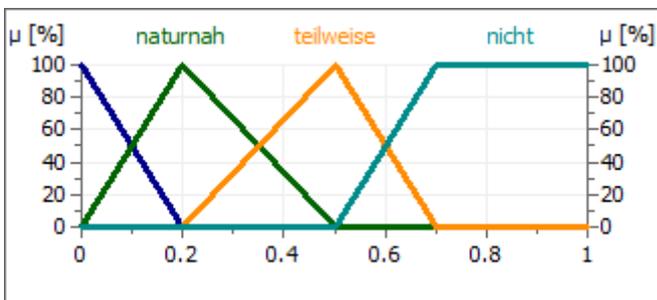


Abbildung 31: Zugehörigkeitsfunktion der Variable "R1\_natürliches\_Ablflussregime"

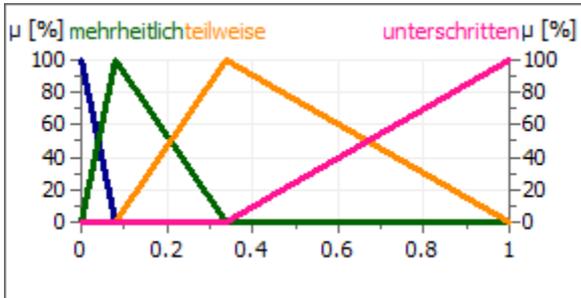


Abbildung 32: Zugehörigkeitsfunktion der Variable "R10\_Artenvielfalt"

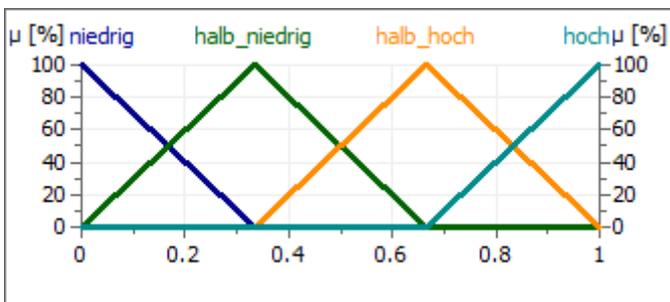


Abbildung 33: Zugehörigkeitsfunktion der Variable "R11\_Vermeid\_krit\_Temp\_O2\_Kapazität"

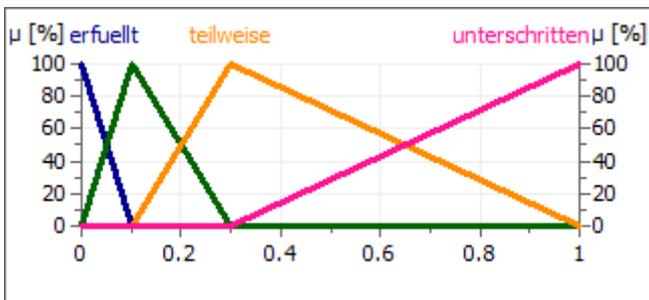


Abbildung 34: Zugehörigkeitsfunktion der Variable "R2\_R3\_Sockelabfluss"

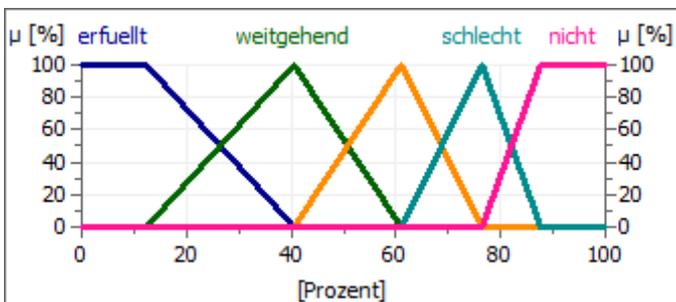


Abbildung 35: Zugehörigkeitsfunktion der Variable "R4\_1\_Verzahnung"

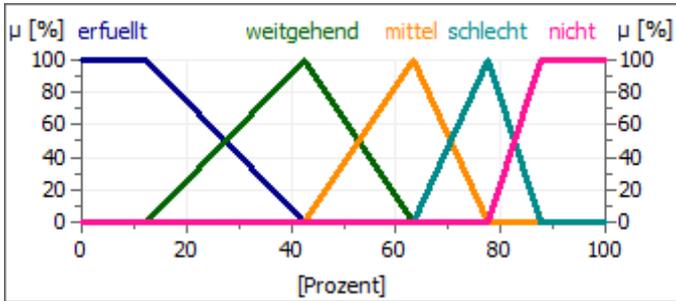


Abbildung 36: Zugehörigkeitsfunktion der Variable "R4\_2\_Grundwasser"

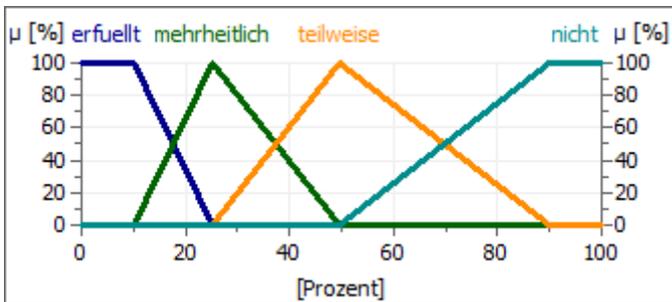


Abbildung 37: Zugehörigkeitsfunktion der Variable "R5\_R6\_Wassertiefe\_und\_Isolation"

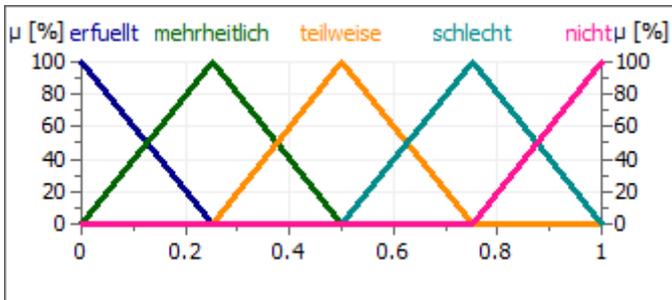


Abbildung 38: Zugehörigkeitsfunktion der Variable "R7\_Struktur\_Gewässersohle"

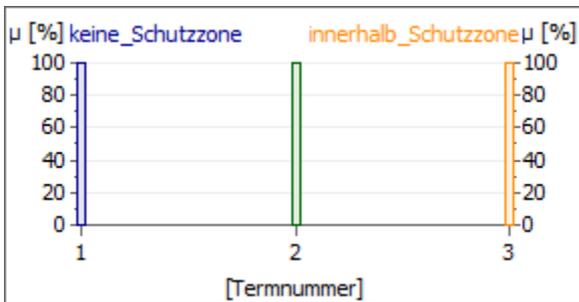


Abbildung 39: Zugehörigkeitsfunktion der Variable "Standort Inventar Schutzzone"

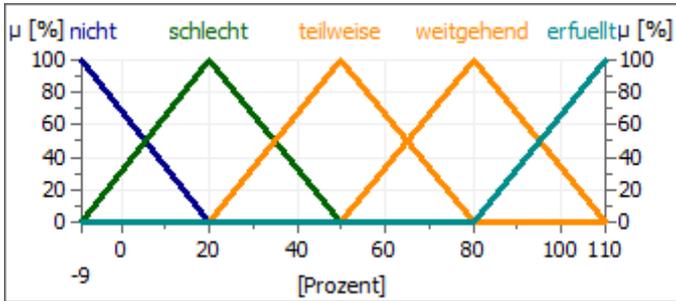


Abbildung 40: Zugehörigkeitsfunktion der Variable "A11\_Vernetzung\_RW\_Anlage"

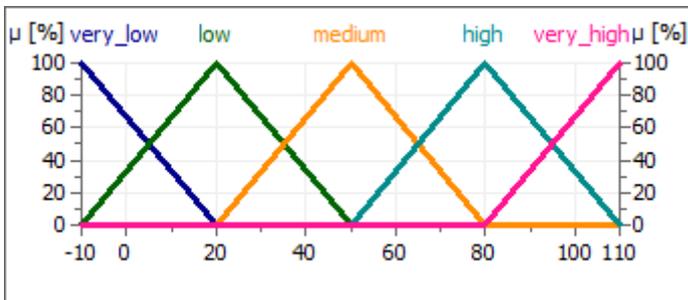


Abbildung 41: Zugehörigkeitsfunktion der Variable "A3\_GewichtetesResultat\_Vernetzung"

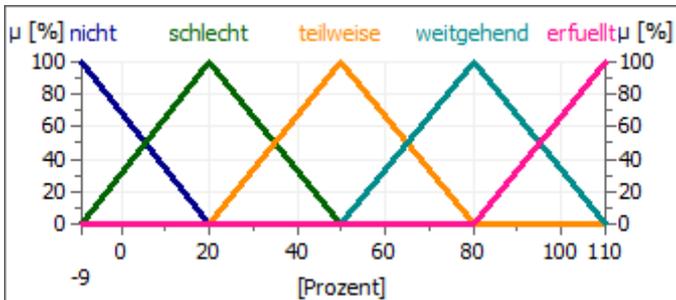


Abbildung 42: Zugehörigkeitsfunktion der Variable "B12\_HydroIChar\_RW\_Anlage"

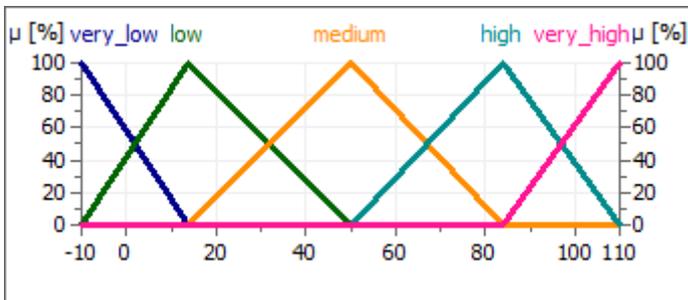


Abbildung 43: Zugehörigkeitsfunktion der Variable "B3\_GewichtetesResultat\_HydroIChar"

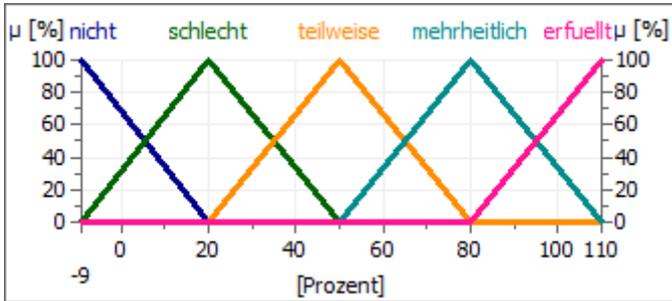


Abbildung 44: Zugehörigkeitsfunktion der Variable "C12\_FeststoffMorpho\_Anlage\_RW"

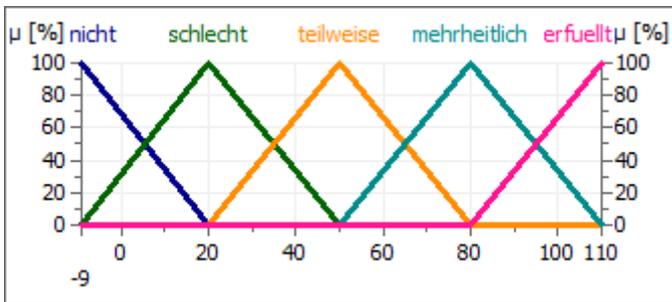


Abbildung 45: Zugehörigkeitsfunktion der Variable "C2\_Summe\_FeststoffeMorpho"

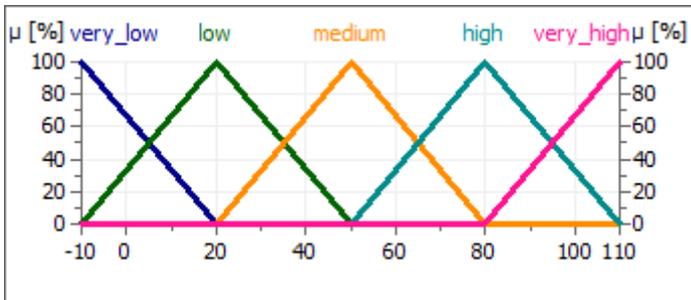


Abbildung 46: Zugehörigkeitsfunktion der Variable "C3\_GewichtetesResultat\_FeststoffMorpho"

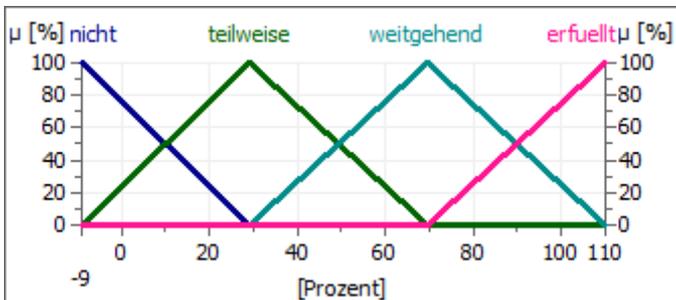


Abbildung 47: Zugehörigkeitsfunktion der Variable "D12\_Landschaft\_Anlage\_RW"

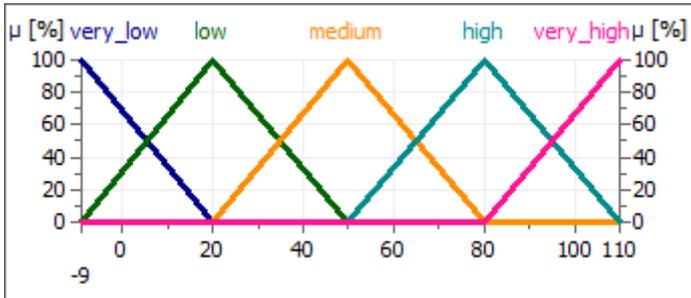


Abbildung 48: Zugehörigkeitsfunktion der Variable "D3\_GewichtetesResultat\_Landschaft"

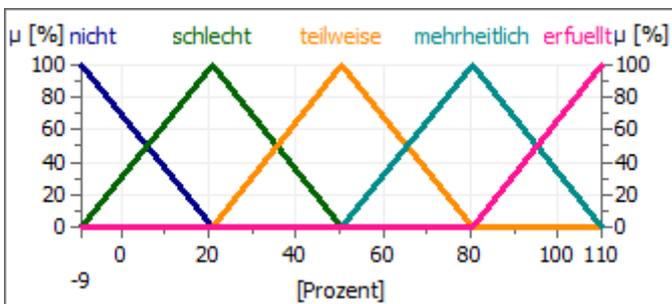


Abbildung 49: Zugehörigkeitsfunktion der Variable "E12\_Lebensgemeinschaft\_RW\_Anlage"

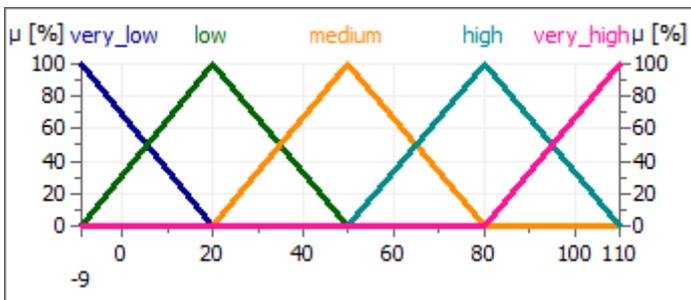


Abbildung 50: Zugehörigkeitsfunktion der Variable "E3\_GewichtetesResultat\_Lebensgemeinschaft"

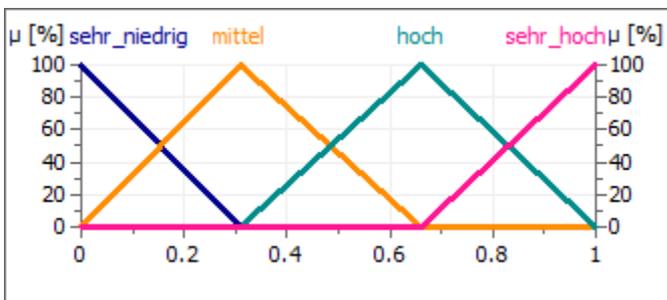


Abbildung 51: Zugehörigkeitsfunktion der Variable "Lebensgem\_R10\_R11"

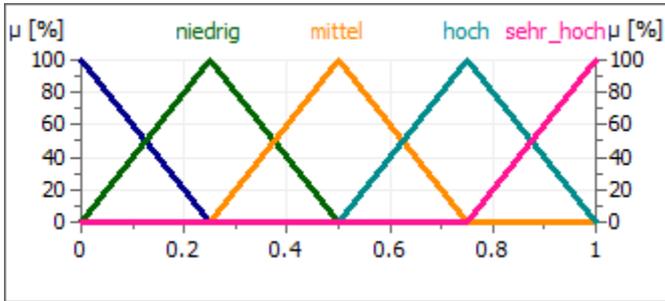


Abbildung 52: Zugehörigkeitsfunktion der Variable "R\_Bilanz\_A\_B"

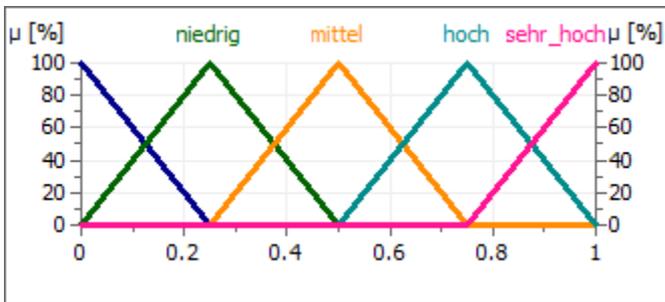


Abbildung 53: Zugehörigkeitsfunktion der Variable "R\_Bilanz\_A\_B\_C"

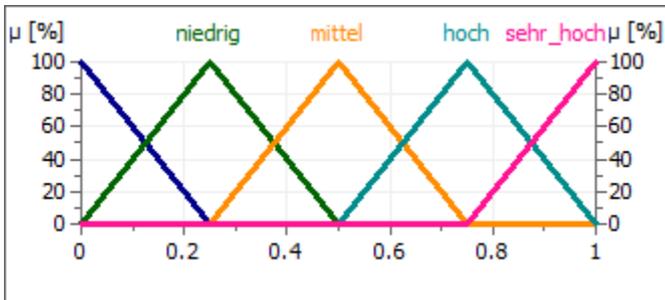


Abbildung 54: Zugehörigkeitsfunktion der Variable "R\_Bilanz\_D\_E"

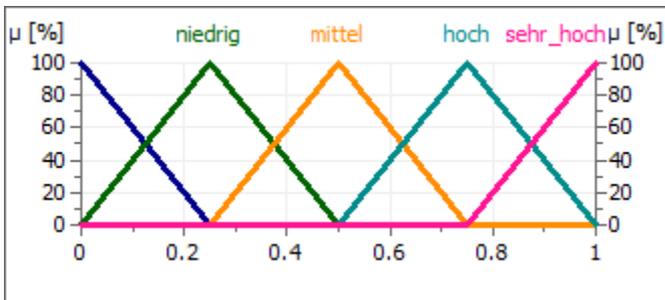


Abbildung 55: Zugehörigkeitsfunktion der Variable "Resultat Total"

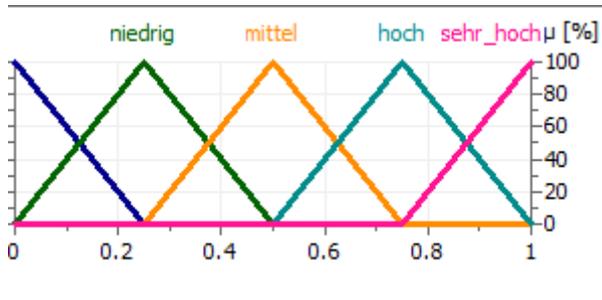


Abbildung 56: Zugehörigkeitsfunktion der Variable "HydroChar1\_Restwasser"

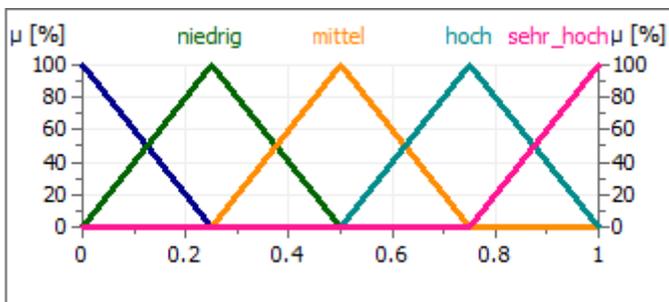


Abbildung 57: Zugehörigkeitsfunktion der Variable "HydroChar2\_Anlage"

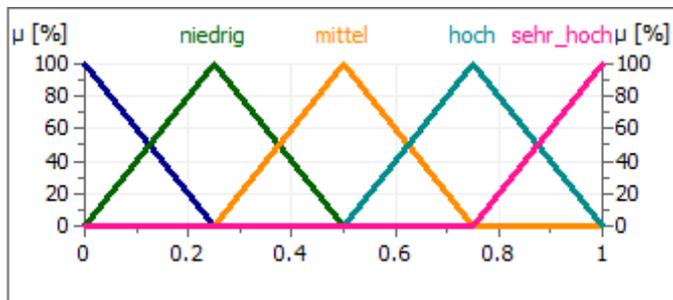


Abbildung 58: Zugehörigkeitsfunktion der Variable "R4\_Verzahnung\_Grundwasser"

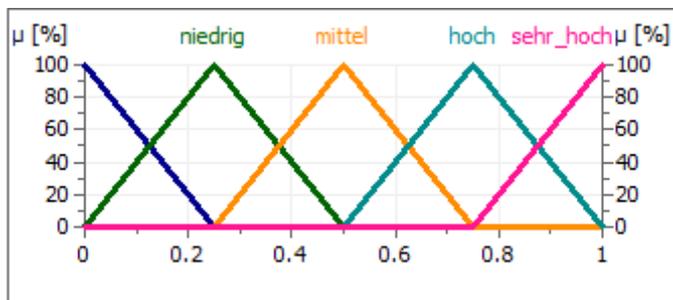


Abbildung 59: Zugehörigkeitsfunktion der Variable "Vernetzung Restwasser"



## B6 Regelblöcke – Stufe 2

Auf eine Zusammenstellung aller Regeln wird verzichtet, da das Modell einige Hundert Regeln umfasst. Für eine allgemeine Beschreibung siehe Anhang A6