

# Energieforschungsprogramm

## Publizierbarer Endbericht

**Programmsteuerung:**

Klima- und Energiefonds

**Programmabwicklung:**

Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft mbH (FFG)

Endbericht

erstellt am

28/07/2017

## **Connect\_Hydro**

Erhöhung der Energieproduktion von  
Kleinwasserkraftanlagen durch eine vernetzte  
intelligente Steuerung

Projektnummer: 853694

# Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Ausschreibung	2. Ausschreibung Energieforschungsprogramm
Projektstart	01/03/2016
Projektende	28/04/2017
Gesamtprojektdauer (in Monaten)	14 Monate
ProjektnehmerIn (Institution)	Energieinstitut an der Johannes Kepler Universität Linz
AnsprechpartnerIn	Dr. Robert Tichler
Postadresse	Altenbergerstraße 69, 4040 Linz
Telefon	+43-732-2468-5656
Fax	+43-732-2468-5651
E-mail	tichler@energieinstitut-linz.at
Website	<a href="http://www.energieinstitut-linz.at/">http://www.energieinstitut-linz.at/</a>

# Connect\_Hydro

## Erhöhung der Energieproduktion von Kleinwasserkraftanlagen durch eine vernetzte intelligente Steuerung

### **AutorInnen:**

#### **Energieinstitut an der Johannes Kepler Universität Linz**

Robert Tichler

Markus Schwarz

Julia Mayrhofer

Martin Baresch

#### **Nextsoft it GmbH**

Karl Platzer

Barbara Platzer

#### **Drack Elektrotechnik**

Bernhard Drack

#### **Verein Kleinwasserkraft Österreich**

Paul Ablinger

Thomas Buchsbaum-Regner

#### **Johannes Kepler Universität Linz, Institut für Anwendungsorientierte Wissensverarbeitung**

Josef Küng

Markus Jäger

Dagmar Auer

## 1 Inhaltsverzeichnis

1	Inhaltsverzeichnis .....	4
2	Einleitung .....	5
3	Inhaltliche Darstellung .....	7
3.1	Stand der Technik bzw. Stand des Wissens .....	7
3.2	Problemstellung.....	12
3.3	Projektziele.....	13
3.4	Methoden .....	14
4	Ergebnisse und Schlussfolgerungen .....	16
4.1	Grobkonzept, Datenerhebung und –analyse & Ereignismatrix .....	16
4.1.1	Ausgangssituation Grobkonzept .....	16
4.1.2	Komponenten für die Datenaufzeichnung im KWKW .....	18
4.1.3	Gewonnene Daten aus der Datenaufzeichnung im KWKW.....	19
4.2	Umsetzungskonzept .....	20
4.2.1	Umsetzungskonzept für die KWKWs .....	20
4.2.2	Umsetzungskonzept für den zentralen Server .....	21
4.3	Nutzen einer Vernetzung von Kleinwasserkraftanlagen .....	27
4.3.1	Ereignismatrix .....	27
4.3.2	Erhöhung der Energieproduktion von KWKWs durch Vernetzung .....	32
4.4	Potentialanalyse und techno-ökonomische Bewertung .....	32
4.4.1	Potentialanalyse für Oberösterreich und Österreich .....	32
4.4.2	Techno-ökonomische Bewertung .....	34
5	Ausblick und Empfehlungen .....	46
6	Literaturverzeichnis .....	47
7	Kontaktdaten .....	48

## 2 Einleitung

**Aufgabenstellung:** Kleinst- und Kleinwasserkraftanlagen (KWKWs) decken in etwa 9% des österreichischen Strombedarfs und nehmen durch ihre dezentrale Energieversorgung einen hohen Stellenwert für die Versorgungssicherheit und Regionalwirtschaft ein. Eine stetige Abwärtsentwicklung der Stromhandelspreise aufgrund von Marktverwerfungen sowie hohe Anforderungen durch die EU-Wasserrahmenrichtlinie führen jedoch zu einer Gefährdung des Betriebs der Anlagen, sodass vermehrt alternative Technologie- bzw. Verwertungskonzepte überlegt werden. Ein Großteil der KWKWs ist nach wie vor mit veralteten Regeleinrichtungen ausgestattet, wobei alleine durch die Modernisierung der Steuerung die Energieausbeute deutlich erhöht werden könnte. Zudem handelt es sich bei der KWKW-Steuerung meist um eine Insellösung, auch weil an einem Fluss meist verschiedene Kraftwerksbetreiber tätig sind. In der Vernetzung bzw. koordinierten Steuerung und Optimierung analog zu großen Kraftwerksketten besteht somit ein erhebliches Potential, dass bislang für Kleinwasserkraftwerke nicht betrachtet wurde. Dazu bedarf es jedoch einer übergeordneten Logik, welche durch ein wissensbasiertes System bereitgestellt werden kann. Als Teilgebiet der Künstlichen Intelligenz befasst sich das wissensbasierte System mit der Automatisierung von intelligentem Verhalten. Im Vergleich zu einem rein algorithmischen Lösungsansatz sind diese Systeme meist einfacher verständlich und zudem besser zu warten.

**Schwerpunkte des Projektes:** Im Sondierungsprojekt *Connect\_Hydro* wird ein Konzept für ein intelligentes Informationssystem erarbeitet, das es ermöglicht, aktuelle Daten einer Kette von KWKWs in Echtzeit an zentraler Stelle zu sammeln, auszuwerten und in geeigneter Form zur Verfügung zu stellen um daraus einen Nutzen zu generieren. Ohne in das Ökosystem einzugreifen kann dadurch zum einen die Energieproduktion gesteigert sowie die wirtschaftliche Situation der Anlagen verbessert werden. Zudem kann durch die Verbesserung der Prognosegenauigkeit der Erzeugung ein zusätzlicher systemdienstlicher Nutzen generiert werden. Gleichzeitig erfolgte eine Potentialabschätzung für Oberösterreich sowie Österreich, eine techno-ökonomische Bewertung von Vernetzungslösungen sowie eine volkswirtschaftliche Betrachtung im Falle einer Realisierung der intelligenten Vernetzung der Kleinwasserkraftanlagen.

**Einordnung in das Programm:** Im Themenfeld 3 der 2. Ausschreibung des Energieforschungsprogramms 2015, insbesondere unter dem Punkt 3.6 wird explizit auf die Bereitstellung von Flexibilität, Modularisierung von Anlagenteilen, Leistungselektronik und elektronischem Umwandler, Modellierung und Simulation der Wechselwirkung Wasserkraftwerk – Netz usw. eingegangen. Zudem wurde unter ebendiesem Punkt die (Komponenten-)Entwicklung und Demonstration von regelbaren Kleinwasserkraftwerken im Verteilnetz adressiert. Das gegenständliche Projekt zielte speziell auf diesen Ausschreibungspunkt ab, indem mithilfe eines intelligenten wissensbasierten Systems zur Kraftwerkssteuerung anhand vernetzter Messdaten der beteiligten Kraftwerke ein Konzept zur Leistungssteigerung einer Kette von Kleinst- und Kleinwasserkraftwerken an einem Fluss erstellt wird.

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Ebenso werden Aspekte des Ausschreibungspunktes 4.1 (Stromnetze) behandelt, indem die im Zuge des erstellten Konzepts generierte Informationen auch für Prognosewerkzeuge für Netzbetreiber genutzt werden können, um die Lastverteilung im Stromnetz besser abzuschätzen und beeinflussen zu können.

**Verwendete Methoden:** Im Zuge der Grobkonzeption wurde eine Anforderungsanalyse durchgeführt, im Zuge dessen betroffene Kraftwerksbetreiber befragt und deren Input in verbaler, tabellarischer und grafischer Form (Mindmaps) dargestellt wurde. Im Datenhandling kamen Methoden wie Datenmodellierung mithilfe von UML-Diagrammen, Dokumentenauswertung, Experteninterviews, automatisierte Aufzeichnungen, Datenanalyse via SQL und Liniendiagramme und Benchmarking zum Einsatz. Im Zuge der Umsetzungskonzeption wurden die benötigten Hardware- und Softwarekomponenten näher betrachtet. Dazu wurde auf Basis von Marktanalysen, die im Grobkonzept definierten Anforderungen verfeinert bzw. vervollständigt und Lösungskonzepte abgeleitet. Diese umfassen die Grobarchitektur für das Gesamtsystem sowie die verschiedenen Komponenten und zeigen die empfohlene Auswahl an zu verwendenden Hard- und Softwarekomponenten. Zudem erfolgte eine Potentialanalyse unter Berücksichtigung der topografischen Möglichkeiten zur intelligent vernetzten Kette von Kleinwasserkraftwerken an den oberösterreichischen und österreichischen Fließgewässern, eine techno-ökonomische Analyse verschiedener Varianten an Vernetzungslösungen sowie eine volkswirtschaftliche Simulationsanalyse.

**Aufbau der Arbeit:** Im Kapitel 3 wird neben dem Stand der Technik bzw. des Wissens die Problemstellung, Projektziele und angewendeten Methoden beschrieben. Die in Kapitel 4 intensiv diskutierten Ergebnisse und Schlussfolgerungen behandeln die inhaltlichen Schwerpunkte des Projektes – das Grobkonzept, die Datenerhebung und –analyse, die Ereignismatrix, das Umsetzungskonzept, die Potentialanalyse und die techno-ökonomische Bewertung. Im letzten Teil des Berichtes bzw. den abschließenden Projektarbeiten werden in Kapitel 5 Empfehlungen für die Weiterentwicklung der von Vernetzungslösungen für Kleinwasserkraftanlagen diskutiert.

### 3 Inhaltliche Darstellung

#### 3.1 Stand der Technik bzw. Stand des Wissens

Lauf- und Ausleitungskraftwerke bilden mit einer Engpassleistung von 5.600 MW einen wesentlichen Bestandteil des österreichischen Stromaufkommens. Einen nicht unerheblichen Beitrag davon leisten über 3.000 Kleinst- und Kleinwasserkraftwerke (<10 MW), mit denen rund 9% des österreichischen Strombedarfes gedeckt werden. Durch ihre dezentrale Energieversorgung haben Kleinst- und Kleinwasserkraftanlagen (KWKWs) somit einen hohen Stellenwert für die Versorgungssicherheit und sind bedeutend für die Regionalwirtschaft durch die Schaffung und Sicherung von Arbeitsplätzen beim Bau, bei der Erweiterung und der Revitalisierung von Anlagen. Die Rahmenbedingungen für den Betrieb von KWKWs werden jedoch zunehmend schwieriger, besonders für jene Ökostromanlagen, für die gesetzlich geregelte Abnahme des erzeugten Stroms durch die Abwicklungsstelle für Ökostrom (OeMAG) ausläuft. Für diese KWKWs erfolgt die Vergütung in weiterer Folge nicht mehr über einen gesetzlich festgelegten Preis, sondern über aktuelle Großhandelspreise. Eine stetige Abwärtsentwicklung der Stromhandelspreise aufgrund von Marktverwerfungen führt jedoch zu einer Gefährdung des Betriebs von bestehenden kleinen Wasserkraftanlagen. Am Stromhandelsmarkt ist für Strom aus Kleinwasserkraft bzw. für Grundlastenergie (EEX Quartalsfuture, Phelix) mit Stand 3. Quartal 2017 ein Preis von rund 3,3 cent/kWh zu erzielen [1]. Ein Preisniveau, bei dem ein kostendeckender Betrieb von bestehenden Anlagen oftmals nicht mehr möglich ist. Zudem fordern die EU-Wasserrahmenrichtlinie (2000/60/EG) und der davon abgeleitete Nationale Gewässerbewirtschaftungsplan (NGP) die Herstellung der Durchgängigkeit sowie Passierbarkeit der Gewässer sowie die Verbesserung der Gewässerstruktur. Dazu ist es notwendig, dass Kraftwerke eine ausreichende Restwassermenge abgeben und zudem die Fischpassierbarkeit gewährleisten. Eine Dotierung für Restwasser- und Fischwanderhilfen führt jedoch insbesondere bei KWKWs zu beträchtlichen Einbußen in der Energieproduktion. Ein Großteil der Betreiber ist somit mit stetig schwieriger werdenden wirtschaftlichen Rahmenbedingungen konfrontiert, sodass vermehrt Überlegungen angestellt werden, inwieweit die Energieproduktion der bestehenden Anlagen gesteigert bzw. die derzeitige Stromerzeugung durch Kleinwasserkraft alternativ vermarktet werden kann.

Die derzeit in Österreich betriebenen Kleinst- und Kleinwasserkraftwerken sind mit verschiedensten Typen von Regeleinrichtungen ausgestattet. Aktuell sind für Neuanlagen zur Steuerung meist digitale Regler wie speicherprogrammierbare Steuerungen (SPS) oder Industrie-PCs im Einsatz. Ältere Anlagen verfügen meist noch über analoge oder mechanische Regler, die keinen externen Zugriff auf die aktuellen Daten der Anlage ermöglichen. Es gibt keine gesicherten Daten über die Anzahl der unterschiedlichen Regelungstypen und deren Verbreitung im Bereich der KWKWs, jedoch ist davon auszugehen, dass der Großteil der Anlagen mit analogen oder mechanischen Reglern ausgestattet ist. Schätzungen zu Folge sind mehr als 60% der bestehenden Kleinwasserkraftanlagen mit veralteten

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

(analogen oder mechanischen) Regeleinrichtungen ausgestattet, wobei alleine durch die Modernisierung der Steuerung die Energieausbeute um bis zu 10% erhöht werden könnte [2]. Somit besteht alleine in der Modernisierung der Steuerung von Kleinwasserkraftwerken ein erhebliches Potential, was vor allem auf die veralteten Regeleinrichtungen zurückzuführen ist.

Um die Betreuung eines Kraftwerks zu erleichtern, wird bei Neuanlagen bzw. bei der Erneuerung der Regelung von bestehenden KWKWs teilweise ein Remote-Zugang geschaffen, um eine Übertragung der am Kraftwerk vorhandenen Benutzerschnittstellen wie ein Bedientableau oder dergleichen zu ermöglichen. Dies ermöglicht für einen Kraftwerksadministrator zwar die aktuellen Daten der Anlage einzusehen bzw. zu ändern und somit in die Steuerung einzugreifen, jedoch können die Daten weder für externe Analysen verwendet werden, noch besteht eine praktikable Möglichkeit, bestimmte Kraftwerksparameter aufgrund von Eingangsdaten und vordefinierter Regeln von externen Systemen auszusetzen und somit auf die Steuerung Einfluss zu nehmen.

An der Alm, einem oberösterreichischen Fluss, der in Grünau im Almtal entspringt und in der Traun mündet werden derzeit 55 Kleinwasserkraftwerke auf einer Länge von insgesamt 48 km betrieben. Die Alm ist demnach eines der am intensivsten energiewirtschaftlich genutzten Gewässer Oberösterreichs. Abbildung 3-1 zeigt das Krafthaus eines KWKWs am Almfluss.



**Abbildung 3-1: Kleinwasserkraftwerk an der Alm in OÖ.**

Wie an der Alm zu sehen ist, und für viele kleinere Fließgewässer gilt, reihen sich an wenigen Kilometer Fließstrecke, viele Kraftwerksanlagen aneinander. Jedoch handelt es sich bei der Steuerung bzw. bei der Aufzeichnung und Auswertung (falls vorhanden) der Anlagendaten meist um Insellösungen, auch weil an einem Fluss meist verschiedene Kraftwerksbetreiber tätig sind. So wurde im Zuge einer durch das Energieinstitut an der JKU erstellten Wasserkraft-Datenbank für Oberösterreich herausgefunden, dass für etwa 368 Kleinwasserkraftanlagen an 30 mittleren und kleinen Fließgewässern über 275 verschiedene Betreiber aufscheinen [3]. An der Alm werden beispielsweise 55 KWKWs von 35 verschiedenen Personen bzw. Gesellschaften betrieben. Somit können derzeitige Wasserkraftanlagen nicht miteinander kommunizieren bzw. nachfolgende Anlagen mit Parametern versorgen, um die Kraftwerkseinstellungen frühzeitig optimieren zu können.

Für kleine Wasserkraftanlagen werden derzeit verschiedene Systeme zur Ansteuerung der Turbinenöffnung, Wasserstandregulierung, Optimierung der Betriebspunkte, Schleusenmanagement sowie Rechenreinigung und Generatorerregung eingesetzt.

- **Relaistechnik**

Relaissteuerungen sind fast ausschließlich bei alten, kleinen Anlagen mit niedrigem Automatisierungsgrad einsetzbar. Konventionelle Relaissteuerungen (siehe Abbildung 3-2) sind kostengünstig, jedoch ist die Erweiterbarkeit sehr begrenzt. Zudem ermöglichen sie keinen Datenaustausch und müssen daher regelmäßig von den Anlagenbetreibern überwacht werden.



Abbildung 3-2: Beispiel für eine Relaissteuerung.

- **Kleine Speicherprogrammierbare Steuerungen**

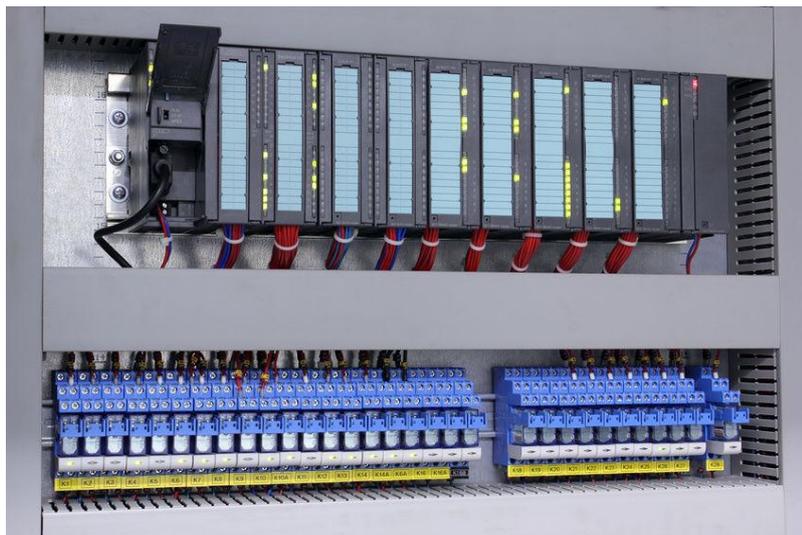
Mithilfe einer speicherprogrammierbaren Steuerung (SPS) können größere Steueraufgaben realisiert werden, wobei einzelne Steueraufgaben auf mehrere Klein-SPSen kostengünstig aufgeteilt werden können. Jedoch eignen sich kleine SPSen nicht für komplexe Anforderungen, zudem ist die Erweiterbarkeit begrenzt. Ein Fernzugriff auf die einzelnen SPSen ist zwar möglich, eine Visualisierung der gesamten Anlage ist aber mit erheblichem Aufwand verbunden.

- **Große Speicherprogrammierbare Steuerungen (SPS)**

Größere industrielle SPSen in Kombination mit einer sog. Blackbox verfügen über eine sehr gute Erweiterbarkeit und ermöglichen einen Fernzugriff auf die Anlage sowie eine Fernübertragung der visualisierten Daten. Zudem wird eine Aufzeichnung und Archivierung von Daten ermöglicht.

# Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG



**Abbildung 3-3: Beispiel für eine große speicherprogrammierbare Steuerung.**

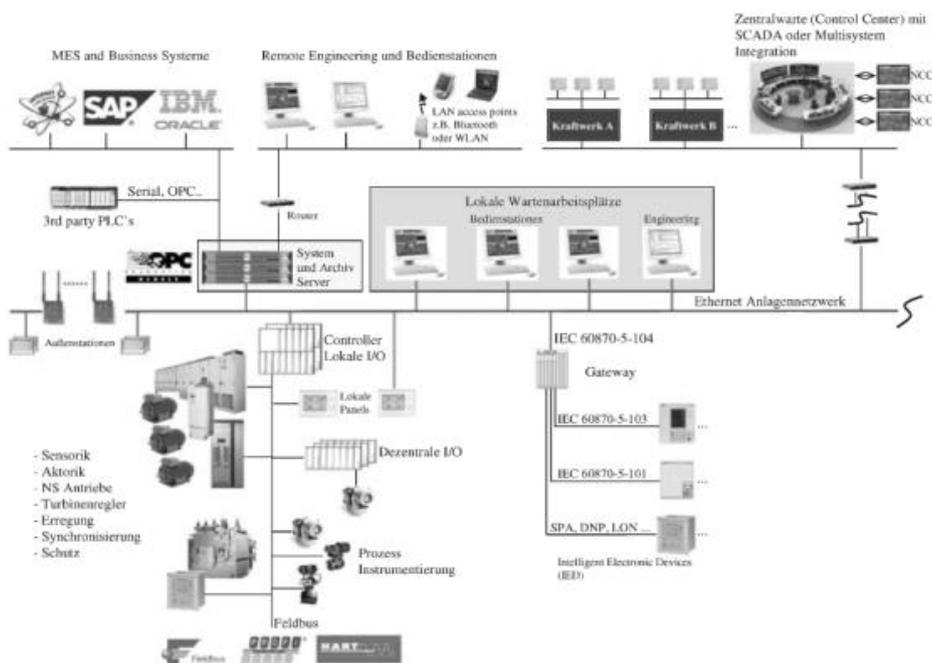
- **Industrie PC**

Industrie-PCs (IPCs) eignen sich für komplexe Systemanforderungen und sind beliebig erweiterbar. IPCs erlauben viele Möglichkeiten der Visualisierung sowie Langzeitarchivierung und Fernübertragung.

Im Gegensatz zur Kleinst- und Kleinwasserkraft verläuft die Steuerung und Regelung im Bereich der Großwasserkraft nach komplexen Schemata. Die Steuerung, Überwachung und Gruppenführung dezentraler Erzeugungsanlagen erfolgt dabei fast ausschließlich durch eine intelligente Vernetzungsstruktur in welchem vollständige Systemkopplungen von geografischen und leittechnisch getrennten Wasserkraftanlagen möglich ist. Wie in Abbildung 3-4 dargestellt, besteht die Steuerung einer großen Wasserkraftanlage aus bis zu 6 Ebenen (1. Prozess, 2. Sensorik, Aktorik, elektr. Systeme, 3. Steuerung, 4. Prozessführung, 5. Betriebsführung, 6. Unternehmensführung), welche mit anderen Kraftwerken über ein intelligentes Leitsystem verbunden sind. Dies ermöglicht eine automatisierte Optimierung der Anlagen sowie eine Datenübertragung in Echtzeit, wodurch betriebswirtschaftliche Parameter maximiert und sicherheitstechnische Aspekte optimiert werden können.

# Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG



**Abbildung 3-4: Hierarchisch und dezentral strukturiertes Vernetzungsmodell einer großen Wasserkraftanlage. Quelle: [4]**

Ein vernetztes System ermöglicht zudem ein Aufzeichnen der Daten im Sekundenbereich, wodurch das Betriebsverhalten der Anlagen analysiert und bei Bedarf weiter optimiert werden kann. Da ein externer Zugriff auf die Steuerung möglich ist, kann sehr schnell auf mögliche Fehlfunktionen reagiert werden, wodurch mögliche Schäden verhindert werden können. Eine weitere Unterscheidung zwischen KWKWs und großen Wasserkraftanlagen besteht darin, dass historische Daten der jeweiligen kleinen Anlagen meist nicht vorliegen, diese aber für ein Prognosemodell unerlässlich sind.

Eine Möglichkeit unterschiedliche Steuerungssysteme von KWKWs zu vernetzen bzw. kleine Wasserkraftanlagen koordiniert zu steuern und zu optimieren besteht in einer übergeordneten Logik. Ebendiese übergeordnete Koordination von Kleinwasserkraftanlagen könnte durch wissensbasierte Systeme organisiert werden, welches ein Teilgebiet der Künstlichen Intelligenz darstellt und sich mit der Automatisierung von intelligentem Verhalten befasst. Im Unterschied zu herkömmlichen Computerprogrammen wird hier nicht die gesamte Logik in einem herkömmlichen Algorithmus abgebildet, der aus einer Folge von Anweisungen besteht, die vorgeben, in welcher Reihenfolge Prozesse von einem Computer abgearbeitet werden sollen. Durch die spezielle Aufbereitung des verwendeten Wissens sind wissensbasierte Systeme im Vergleich zu einem rein algorithmischen Lösungsansatz meist einfacher verständlich und besser zu warten. Auch muss der damit befasste Softwareentwickler in diesem Fall nicht über das gesamte Wissen verfügen, um daraus adäquate Algorithmen zu entwickeln. Das in einem wissensbasierten System verwendete Wissen kann von den jeweiligen Fachleuten direkt in das System eingegeben werden, was die Fehlerhäufigkeit reduziert. Wissensbasierte Systeme werden bereits in verschiedenen Bereichen eingesetzt, beispielsweise zu

Diagnosezwecken in der Medizin, zur Produktionsplanung und -steuerung oder für Erdbebenvorhersagen. Als weiteres potentielles Anwendungsfeld würde sich die Vernetzung von Kleinwasserkraftanlagen anbieten.

## 3.2 Problemstellung

Im Unterschied zu größeren Laufkraftwerken sind Kleinst- oder Kleinwasserkraftwerke (KWKWs) anfälliger für Geschwemmsel (Laub, Äste, Müll, usw.), weshalb häufig Reinigungen (im Extremfall dauerhafter Betrieb) und Spülungen nötig sind (im Extremfall alle 15 min) um die Leistung konstant zu halten. Auch sind kleinere Anlagen generell viel empfindlicher bzw. weniger robust gegen Treibgut im Wasser (z.B. bei Kaplanturbinen). Die Kommunikation zwischen KWKW-Anlage an einem Fließgewässer ist im Unterschied zu Großwasserkraftwerksbetreiber (oftmals gleicher Betreiber) nicht automatisiert. Gerade wenn beispielsweise ein Ausleitungskraftwerk im Falle von Niederwasser ausfällt, fallen häufig auch die nächstfolgenden Kraftwerke aus, weil diese keine ausreichende Wassermenge mehr zur Verfügung haben (sog. Wasserlöcher). Dabei gibt das Ausleitungskraftwerk kein oder kaum Wasser über den Turbinenauslauf mehr ab, sodass ein Rückstau bis zur Wehranlage entsteht. Erst wenn der Ausleitungskanal vollgefüllt ist, wird das Wasser über die Wehranlage zu den nächsten Kraftwerken weitergeleitet. Anlagen ohne automatischen Wiederanlauf müssen in diesem konkreten Fall manuell neu gestartet werden. Automatisierungs- und Vernetzungslösungen, wie sie für große Wasserkraftanlagen eingesetzt werden, sind für KWKWs oft nicht wirtschaftlich darstellbar und/oder aufgrund anderer Bedingungen nicht praktikabel.

An größeren Flüssen wie z.B. an der Donau, Inn, Traun, Enns oder an der Oder bzw. Elbe wird seit längerem an Vernetzungslösungen gearbeitet. Allerdings können die Ergebnisse dieser Arbeit nicht vollständig auf den Kleinwasserkraftbereich skaliert werden, da zwischen großen Laufkraftwerken (z.B. an der Donau) und Kleinstwasserkraftwerken (z.B. an der Alm) wesentliche Unterschiede bestehen:

- Geschwemmsel- bzw. Verlaubungsproblematik: kleinere Turbinen sind anfälliger für Geschwemmsel (Laub, Äste, Müll, usw.), daher sind häufigere Reinigungen und Spülungen nötig (z.B. im Extremfall alle 15 min), um die Leistung konstant zu halten
- Kleine Anlagen sind häufig viel empfindlicher; weniger robust gegen Treibgut im Wasser (z.B. bei Kaplanturbinen)
- Eigentümerstruktur: Die KWKW-Anlagen an einem Fluss werden typischerweise von vielen unterschiedlichen Eigentümern betrieben, die sich meist nicht miteinander absprechen
- Bei hoher Kraftwerksdichte reduziert der Rückstau des nächsten Kraftwerks die Fallhöhe des vorherigen Kraftwerks
- Genaue, valide Daten werden bei sehr vielen KWKW-Anlagen bislang nicht aufgezeichnet
- In vielen Fällen ist eine Drosselung der Leistung von Kleinwasserkraftanlagen bei Wasserverschmutzung (z.B. bei Baggerungsarbeiten im Flussbett, kleineren Hochwässern, starken Regenfällen, usw.) erforderlich

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

- Bedarf an alternativen Vermarktungsmöglichkeiten der erzeugten Energie bei kleinen Wasserkraftanlagen, die durch die Vernetzung der Anlagen ermöglicht werden könnte
- Planbarkeit ist beim Kleinstwasserkraftwerk aufgrund der fehlenden Vernetzung nicht gegeben
- Wasserlöcher: Wenn ein Ausleitungskraftwerk bei Niederwasser ausfällt, fallen häufig auch die nächsten Kraftwerke aus, da sie keine ausreichende Wassermenge mehr zur Verfügung haben. Das Ausleitungskraftwerk gibt kein Wasser über den Ausleitungskanal mehr ab und es entsteht ein Rückstau bis zur Wehranlage. Erst wenn der Ausleitungskanal gefüllt ist, wird das Wasser über die Wehranlage zu den nächsten Kraftwerken weitergeleitet. Anlagen ohne automatischen Wiederanlauf müssen dann manuell neu gestartet werden.
- Begrenzte finanzielle Möglichkeiten: Automatisierungs- und Vernetzungslösungen, die sich für große Laufkraftwerke wirtschaftlich darstellen lassen, sind für Kleinst- und Kleinwasserkraftwerke oft nicht wirtschaftlich und/oder anderer Bedingungen nicht praktikabel.

Durch eine intelligente Vernetzung von einer Kette von KWKWs kann eine Optimierung der Energieproduktion und somit eine Steigerung des Stromoutputs, sowie eine Verbesserung der Vermarktungsmöglichkeiten (Bündelung) des erzeugten erneuerbaren Stroms realisiert werden, wodurch die Wirtschaftlichkeit dieser Anlagen gesteigert wird.

### 3.3 Projektziele

Übergeordnetes Ziel des Sondierungsprojekts *Connect\_Hydro* ist die Erstellung eines Konzeptes für ein intelligentes Informationssystem, das es ermöglicht, aktuelle Daten einer Kette von KWKWs in Echtzeit an zentraler Stelle zu sammeln, auszuwerten um eine gemeinschaftliche Regelung von Kleinwasserkraftwerken zu ermöglichen. Ohne in das Ökosystem einzugreifen kann dadurch zum einen die Energieproduktion gesteigert sowie die wirtschaftliche Situation der Anlagen verbessert werden. Zudem kann durch die Verbesserung der Prognosegenauigkeit der Erzeugung ein zusätzlicher systemdienstlicher Nutzen generiert werden.

Das Konzept, welches im Zuge von *Connect\_Hydro* entwickelt wird, soll in weiterer Folge dazu dienen, Steuerinformationen für die beteiligten Kraftwerke sowie relevante Informationen für direkte Stromabnehmer, Netzbetreiber und die breite Öffentlichkeit in Echtzeit zu generieren. Auch externe Daten wie z.B. Niederschlagsdaten können automatisiert mit einfließen. Abbildung 3-5 gibt einen schematischen Überblick über das zu konzeptionierende Informationssystem.

# Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

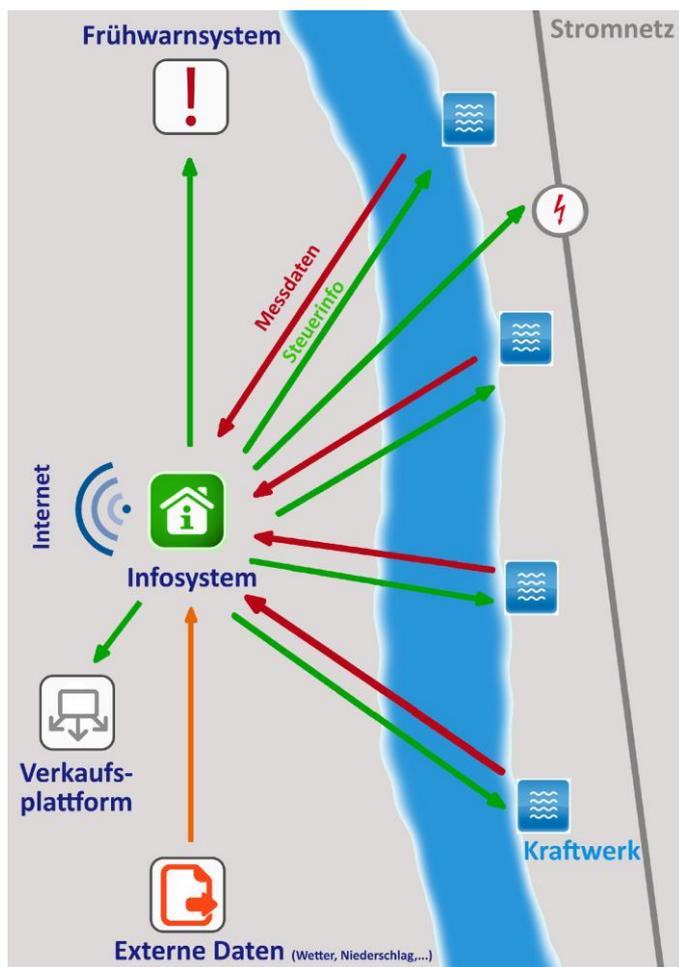


Abbildung 3-5: Schematischer Aufbau des Zielsystems. Quelle: Eigene Darstellung.

Aus dem zuvor definierten übergeordneten Ziel lassen sich folgende Teilziele ableiten:

- Erstellung eines Grobkonzepts in einer frühen Projektphase
- Erarbeitung eines Umsetzungskonzeptes für das Informationssystem anhand der im Zuge des Projekts gewonnenen Informationen
- Technoökonomische Bewertung sowie Potentialanalyse in Hinblick auf die österreichische Kleinwasserkraft

## 3.4 Methoden

### Grobkonzept

Um ein Grobkonzept erstellen zu können, wurde eine Anforderungsanalyse durchgeführt. Vor allem die Befragung von betroffenen Kraftwerksbetreibern und deren Input waren diesbezüglich sehr hilfreich. Die Darstellung der Ergebnisse wurde in verbaler, tabellarischer und grafischer Form (Mindmaps) durchgeführt.

# Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

## Datenerhebung und -analyse

Bei der Datenerhebung und -analyse kamen Methoden wie Datenmodellierung mithilfe von UML-Diagrammen, Dokumentenauswertung, Experteninterviews, automatisierte Aufzeichnungen, Datenanalyse via SQL und Liniendiagramme und Benchmarking zum Einsatz.

## Umsetzungskonzept

Für das Umsetzungskonzept wurden sowohl das Grobkonzept als auch die Ergebnisse der Datenerhebung und -analyse als Ausgangspunkt herangezogen und darauf aufbauend die Anforderungen an die intelligente Vernetzungslösung detailliert untersucht und in Bezug auf die benötigten Hardware- und Softwarekomponenten näher betrachtet. Dazu wurden einerseits eine Analyse und Bewertung der am Markt verfügbaren Hard- und Softwarekomponenten anhand eines zuvor definierten Kriterienkatalogs vorgenommen. Andererseits wurden die im Grobkonzept definierten Anforderungen verfeinert bzw. vervollständigt und es wurden Lösungskonzepte für die jeweiligen Anforderungen entwickelt. Mithilfe des Wissens und der Erfahrung im Team, aber auch durch zusätzliche Recherchen zu technischen Lösungsansätzen, wurden Alternativen untersucht und diskutiert. Das Lösungskonzept umfasst die Grobarchitektur für das Gesamtsystem sowie die verschiedenen Komponenten und zeigt die empfohlene Auswahl an zu verwendenden Hard- und Softwarekomponenten.

## Techno-ökonomische Bewertung, Potentialanalyse

Im Zuge der techno-ökonomischen Bewertung erfolgte eine Gegenüberstellung der durch das wissensbasierte System vernetzten Kleinwasserkraftwerke mit dem Status quo um daraus energetische, betriebs- sowie volkswirtschaftliche Größen abzuleiten. Dabei erfolgte mithilfe der Ergebnisse aus den vorherigen Arbeitspaketen in einem ersten Schritt eine Potentialabschätzung unter Berücksichtigung der topografischen Möglichkeiten zur intelligent vernetzten Kette von Kleinwasserkraftwerken an den oberösterreichischen und österreichischen Fließgewässern. Die Hochrechnung erfolgte für Oberösterreich auf Basis der Ergebnisse aus Vorprojekten und für Österreich anhand von Statistiken. Parallel dazu erfolgte in Kooperation mit den Projektpartnern die ökonomische Analyse in Abhängigkeit der Ergebnisse der Potentialanalyse gemäß ÖNORM M 7140 [5] bzw. VDI 6025 [6]. Demnach wurden nach dem Prinzip der Lernrate unterschiedliche Varianten (verkaufte Einheiten an Vernetzungslösungen) techno-ökonomisch bewertet. Schließlich erfolgte zur Vervollständigung der ökonomischen Analyse eine volkswirtschaftliche Betrachtung der Ergebnisse mithilfe einer makroökonomischen Simulationsanalyse mit dem Zeitreihen-basierten Modell MOVE2, im Zuge dessen makro-ökonomische Parameter wie z.B. Bruttowertschöpfung, Investitionen der Unternehmen, energetische Importe, usw. quantifiziert wurden.

## 4 Ergebnisse und Schlussfolgerungen

### 4.1 Grobkonzept, Datenerhebung und –analyse & Ereignismatrix

#### 4.1.1 Ausgangssituation Grobkonzept

Die in einem ersten Schritt durchgeführte Anforderungsanalyse ergab, dass ein System zur intelligenten Vernetzung von Klein- und Kleinstwasserkraftwerken folgende Aufgaben erfüllen muss:

- Daten erheben
- Daten analysieren
- Automatisiert Rückschlüsse ziehen
- Selbstlernende Systeme für die Steuerung
- Rückmeldung an bestehende Regelung von Kleinwasserkraftwerken
- Koppelung mit Frühwarnsystemen

Üblicherweise ist zur Steuerung von Kleinwasserkraftwerken der Steuerungsalgorithmus in die Anlage integriert. Die geplante Vernetzungslösung soll als Steuerung von KWKWs mit externer Logik ausgelegt werden und folgende Aufgaben übernehmen:

1. Daten von verschiedenen KWKWs sammeln
2. Daten an die externe Logik übermitteln
3. Steuerempfehlungen an KWKWs zurücksenden

Zu diesem Zweck sind für die Vernetzungslösung folgende Komponenten erforderlich:

- Kommunikationseinheit im KWKW, die
  - Sensordaten im KWKW sammelt,
  - Sensordaten an einen zentralen Server übermittelt,
  - Steuerungsempfehlungen von zentralen Server erhält, und
  - Steuerungsempfehlungen für die KWKW-Steuerung vor Ort bereitstellen.
- Zentraler Server, der
  - Sensordaten der KWKW in eine gemeinsame Datenbasis zusammenfasst,
  - Datenbasis umrechnet, analysiert und auswertet,
  - Rückschlüsse aus den Daten zieht,
  - Steuerungsempfehlungen an die KWKWs sendet, und
  - Benachrichtigungen im Rahmen eines Frühwarnsystems vornehmen.

Das Einbinden der Steuerungsempfehlungen in die Steuerung der KWKWs vor Ort ist nicht Gegenstand der Vernetzungslösung. Bei der Verfeinerung des Konzepts ist jedoch auf eine einfache Integrierbarkeit der Steuerungsempfehlungen zu achten.

# Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

In Verbindung mit einem entsprechenden Know-how zum Betrieb von Kleinwasserkraftanlagen lassen sich aus einfachen Sensordaten, bestimmte Sachverhalte ableiten, die für die Steuerung und Regelung von Kraftwerken von Interesse sind. Beispielsweise lässt der Verlauf der Wasserstände bzw. die Veränderung der Rechenreinigungsintervalle in einem bestimmten Zeitabschnitt Rückschlüsse auf Hochwasser, Verlaubung bzw. Wasserlöcher zu. Entsprechende Rückschlüsse ermöglichen wiederum das Ableiten von Handlungsanweisungen für eine Kette von Kleinwasserkraftwerken. Der Prozess vom Sammeln der Daten von den KWKWs bis zur Bereitstellung von Steuerungsanweisungen für KWKWs soll dabei mit möglichst geringem Aufwand ablaufen können, um eine praktikable Lösung für die Kraftwerksbetreiber zu finden.

Folgende Abbildung zeigt das Ergebnis der Anforderungsanalyse im Zuge der Grobkonzeption einer intelligenten Vernetzungslösung von KWKWs.



Abbildung 4-1: Mind-Map einer intelligenten Vernetzungslösung. Quelle: Eigene Darstellung.

# Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

In der Phase der Grobkonzeption für eine intelligente Vernetzung fand zudem ein intensiver Austausch mit verschiedenen Stakeholdern statt, sowohl mit Betreibern von Klein(st)wasserkraftwerken an der Alm sowie an anderen Flüssen in Oberösterreich, als auch mit Betreibern von Stauketten an größeren Gewässern (Energie AG, Ennskraftwerke AG, EVN, Wien Energie). Es zeigte sich ein großes Interesse an der Thematik der Vernetzung von Wasserkraftwerken zur Betriebsoptimierung, sodass der intensive Austausch bzw. Know-how Transfer vor allem zu einem signifikanten Wissensaufbau führte.

Zusammengefasst sind es aus Sicht der Betreiber von Stauketten an größeren Gewässern vor allem folgende Aspekte, die in der intelligenten Vernetzung von KWKWs zu berücksichtigen sind, um diese erfolgreich umsetzen zu können:

- Prüfung der wasserrechtlichen Bescheide relevant
- Prüfung der hydraulischen Verhältnisse relevant
- Vorteile einer gemeinsamen Vermarktung nutzen
- Größtes Potential der Vernetzung liegt in der Verringerung der Stillstandszeiten
- Unterschiedlichen Automatisierungsgrade der Kraftwerke in einer Staukette → Einzelne Betrachtung jeder Anlage
- Berücksichtigung der IT-Sicherheit sowie die Datenbereitstellung
- Gemeinsame Spülung der Wasserkraftwerke als möglicher Teilbereich der Vernetzung
- Leistung der Kraftwerke als wichtigster und aussagekräftigster Parameter

## 4.1.2 Komponenten für die Datenaufzeichnung im KWKW

Zur Datenaufzeichnung wurden folgende Komponenten im KWKW verwendet:

- Aufzeichnungshardware: Im KWKW an 3 verschiedenen Standorten
- Aufzeichnungssoftware: Übernimmt das Aufzeichnen und Senden der Daten an einen zentralen Server (C++)

Die Datenübertragung zwischen KWKW und Datenserver erfolgte via TCP/IP. Am Datenserver kamen folgende Komponenten zum Einsatz:

- Auswertungssoftware: Zuständig für das Empfangen der Daten vom KWKW und das Einfügen in Datenbank (JAVA)
- Datenbank: Datenspeicherung (MySQL)
- Web-Schnittstelle: Visualisierung der Rohdaten in Form von skalierbaren Liniendiagrammen (PHP, JavaScript)

### 4.1.3 Gewonnene Daten aus der Datenaufzeichnung im KWKW

Mit der Datenaufzeichnung an den Standorten wurde im Juni 2016 begonnen, sodass bis Projektende (April 2017) mehr als 28 Mio. aufgezeichnete Werte generiert werden konnten. Die Aufzeichnung fand an den 3 Standorten bzw. KWKWs Redlmühle, Lippenannerl und Forstsagmühle an der Alm statt.

Bei der Datenaufzeichnung konnten folgende Parameter erfasst werden:

- Wasserstände
  - bei Wehr
  - vor dem KWKW
  - vor der Rechenreinigung
  - nach der Rechenreinigung
- Rechenreinigungsintervall
- Öffnen und Schließen der Grundschleuse bei Wehranlage
- Öffnung der Turbine
- Elektrische Leistung

Folgende Abbildung zeigt die im Zuge des Projektes entwickelte Hardware für die Datenaufzeichnung in Kleinst- oder Kleinwasserkraftwerken (KWKWs).

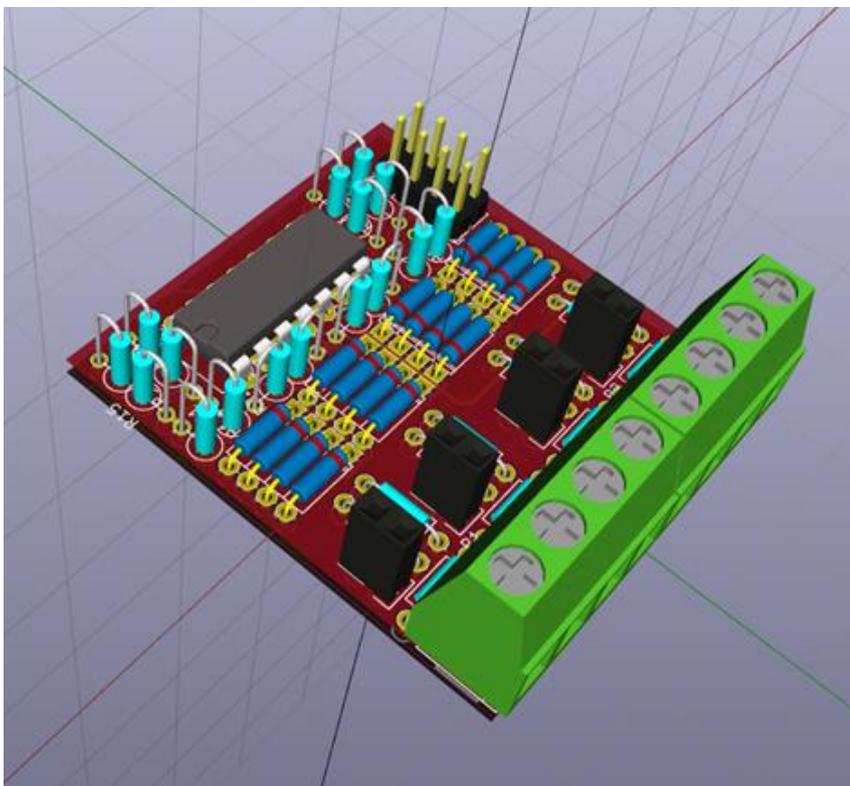


Abbildung 4-2: Hardware im KWKW für die Datenaufzeichnung – 3D Visualisierung. Quelle: Eigene Darstellung.

## 4.2 Umsetzungskonzept

Für die Umsetzung der IKT-Lösung zur intelligenten Vernetzung von KWKWs sind Erweiterungen in den Anlagen der KWKWs vorzunehmen und darüber hinaus ein zentrales System zu schaffen, das die wesentliche Funktionalität abbildet. Im Folgenden werden zuerst jene Aspekte betrachtet, die die einzelnen KWKWs betreffen und anschließend auf das zentrale System eingegangen.

### 4.2.1 Umsetzungskonzept für die KWKWs

Die für das Umsetzungskonzept relevanten Komponenten wurden nach folgenden Kriterien ausgewählt:

- Preis
- Robustheit
- Programmierbarkeit
- Connectivity
- Lieferbarkeit
- Stromverbrauch
- In-/Output-Schnittstellen
- Signale (Welche und wie viele?)
- Kompatibilität mit bestehenden Kraftwerksteuerungen
- Größe

Demnach wurden folgende Komponentengruppen (fertige Lösungen) der Vernetzungseinheit ausgewählt:

- Speicherprogrammierbare Steuerungen: z.B. Siemens Simatic S7-1200, Siemens Logo, Mitsubishi MELSEC FX3GE, Advantech Adam 6024
- Industrie PCs: z.B. Siemens SIMATIC IPC227E
- Mini-PC: z.B. Raspberry Pi, BeagleBone Black
- Kombinierbare Module: Arduino Ethernet, Atmega, Arduino Nano, Atmega328, Enc28J60, usw.

Für die selbst zu entwerfende sowie zu bauende Hardware für die Vernetzungseinheit wurden im Wesentlichen folgende Komponenten benötigt:

- Leiterplatte: gemäß Bauplan
- Microcontroller: z.B. ATmega328P
- Ethernet LAN Modul: z.B. Enc28J60
- Gehäuse
- Operationsverstärker (z.B. LM324)
- Elektrocondensatoren (z.B. Elko 100µ)
- Spannungs-Linearregler (z.B. LM7805CT)
- Dioden (z.B. Bat43)

# Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

- Klemmleisten
- Flachbandkabel
- IDC Stecker
- Stiftleistenpins
- Widerstände

Folgende Abbildung zeigt die im Zuge des Projektes getestete Hardware bei den einzelnen KWKWs.

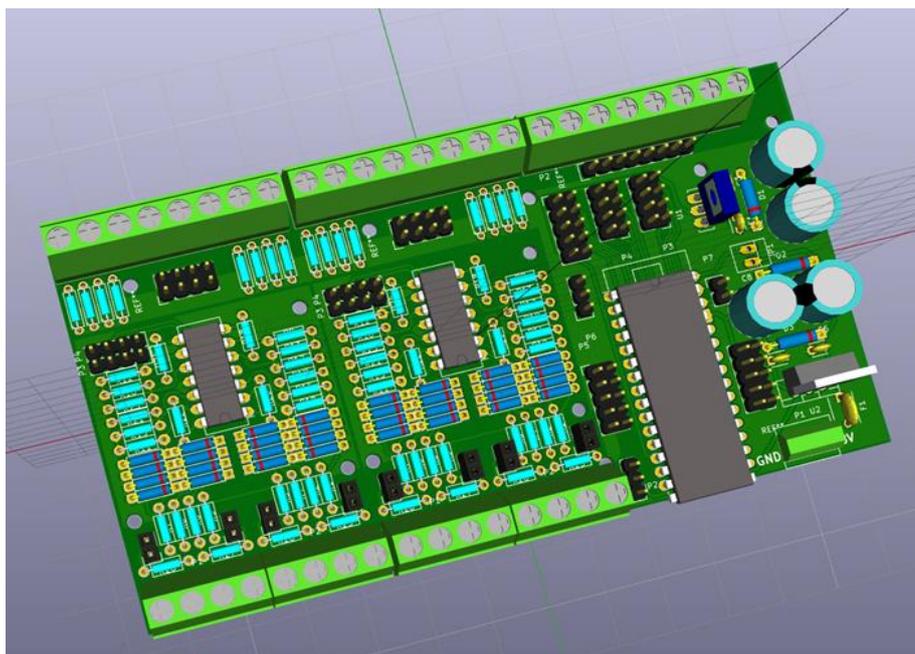


Abbildung 4-3: Getestete Hardware für Vernetzungseinheit im KWKW – 3D Visualisierung. Quelle: Eigene Darstellung.

## 4.2.2 Umsetzungskonzept für den zentralen Server

Im folgenden Kapitel wird auf die Anforderungen an das Serversystem eingegangen. Dabei wird sowohl auf die Gesamtarchitektur als auch auf die einzelnen Komponenten detaillierter eingegangen.

### Komponenten des zentralen Servers – Überblick und Aufgaben

Folgende Auflistung gibt einen Überblick der für den zentralen Server relevanten Komponenten sowie deren Anforderungen an die jeweilige Komponente:

1. Kommunikationskomponente mit KWKWs
  - Daten von KWKWs empfangen und für die weitere Verarbeitung bereitstellen
  - Steuerinformationen an KWKWs senden
2. Datenspeicher & Transformation von Messdaten
  - Stammdaten verwalten (Daten zu Kraftwerken, Betreibern, Fluss, Sensoren,

# Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

- Umrechnungsfaktoren, usw.)
  - Sensormessdaten in geeigneter Form für die Generierung der Steuerempfehlungen sowie als Basis für die Analyse ablegen
  - Steuerempfehlungen speichern
  - Messdaten in reale Werte umwandeln (mithilfe der Umrechnungsfaktoren je KWKW und Sensor)
3. Regelbasierte Komponente
    - Regeln verwalten
    - Wenn-Dann-Beziehungen
    - Steuerinformationen aufgrund von Daten und Regeln generieren
  4. Selbstlernende Komponente
    - Regeln aufgrund von Benchmarks möglichst automatisiert verbessern
  5. Benutzerschnittstelle
    - z. B. via Webanwendung oder mobiler App
    - Benutzer und Rechte verwalten
    - Regeln verwalten
    - Stammdaten wie Anlagen oder Meldungen (Eisstoß, Wartung, usw.) verwalten
    - Anlagen und Parameter visualisieren
  6. Kopplung mit Frühwarnsystem (Einbindung Dritter, wie Land OÖ, Blaulichtorganisationen, usw.)
    - z. B. via Webservice
    - Wasserstände, Wehranlagenöffnung, Störungen
  7. Benachrichtigungssystem für Anlagenbetreiber
    - z. B. via SMS, Email

Die folgende Abbildung 4-4 gibt einen Überblick über die grundlegenden Komponenten und zeigt wesentliche Anwendungsfälle.

# Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

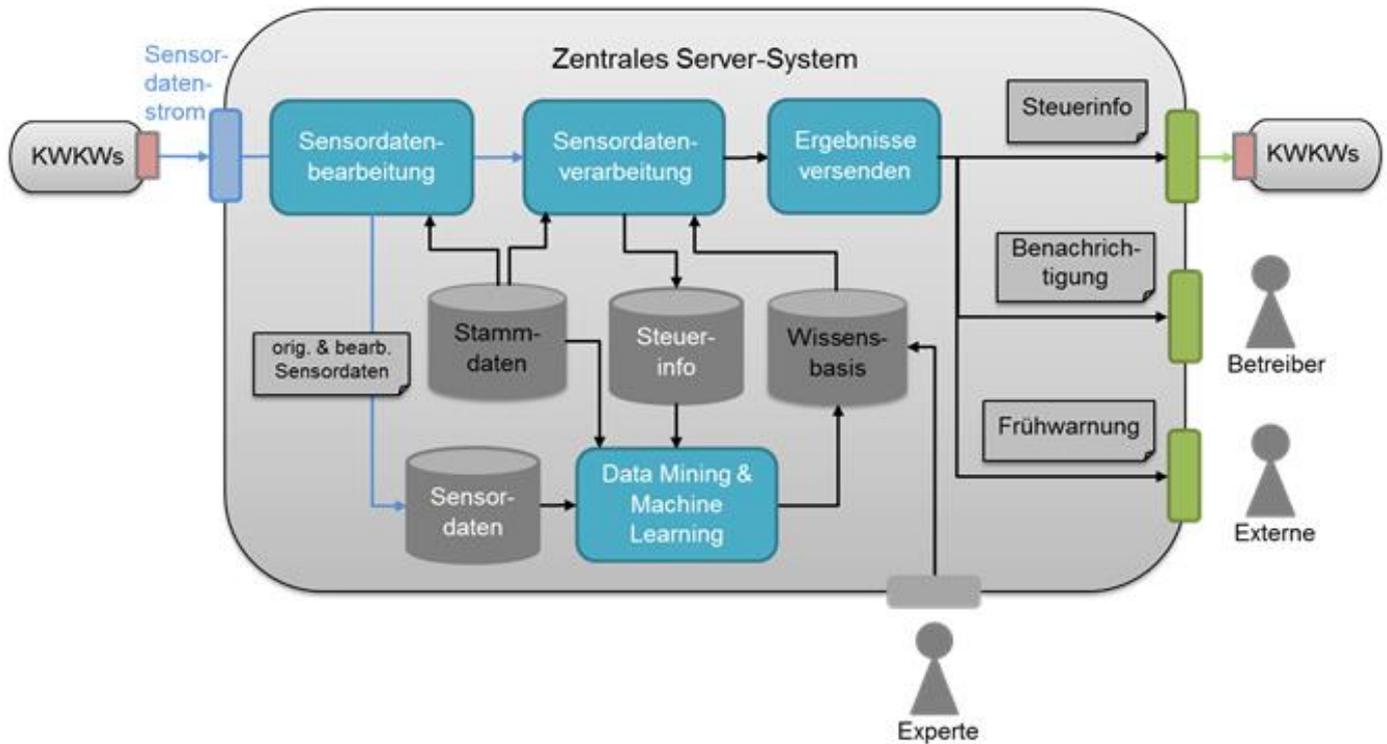


Abbildung 4-4: Grobarchitektur des Server-Systems. Quelle: Eigene Darstellung.

Die Sensordaten aus den Kleinwasserkraftwerken (KWKWs) werden am Server sowohl für die Ermittlung der Steuerinformationen für alle KWKWs, die Generierung von Benachrichtigungen und von Frühwarnungen in Echtzeit, als auch für den Aufbau und die Weiterentwicklung der Wissensbasis genutzt. Daher können hinsichtlich der Nutzung der Daten grundsätzlich zwei Szenarien unterschieden werden:

- Verarbeitung der Sensordaten in Echtzeit, ohne die Daten vorher persistent zu speichern
- Speicherung der Sensordaten für die spätere Analyse

Abbildung 4-4 zeigt die grundlegenden Szenarien der Verarbeitung des Sensordatenstroms, sowie die am System beteiligten Benutzergruppen. Der Sensordatenstrom wird gelesen, interpretiert und dann sowohl an die Sensordatenverarbeitung als auch an den Sensordatenspeicher weitergeleitet. Für die Sensordatenverarbeitung werden ausschließlich die interpretierten Werte benötigt, während im Sensordatenspeicher sowohl die von den Kraftwerken übertragenen Sensorwerte als auch die interpretierten Werte festgehalten werden.

Die Steuerungsempfehlungen (siehe „Steuerinfo“ in Abbildung 4-4) werden in Echtzeit erzeugt, sobald neue Daten von einem Kraftwerk empfangen werden. Diese Steuerungsempfehlungen werden einerseits an die KWKWs geschickt, andererseits am Server archiviert, um für spätere Analysen verfügbar zu sein. Neben Steuerungsempfehlungen werden auf Basis der Sensordaten auch Benachrichtigungen für die Kraftwerksbetreiber und Frühwarnungen für Externe in Echtzeit erzeugt.

Der zweite Bereich des Serversystems ist der Analyse-Bereich. Er dient dazu, die Qualität der

# Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Empfehlungen, die in Echtzeit erzeugt werden, zu verbessern. Dazu werden neben den Stammdaten insbesondere die historischen Sensordaten, aber auch die generierten historischen Steuerinformationen genutzt. Darüber hinaus wird die Wissensbasis auch über Experten direkt bearbeitet, um die Qualität der Ergebnisse zu verbessern.

## Komponenten des zentralen Servers – Gesamtkonzept inkl. Technologiestack

Im Folgenden werden für die grundlegenden Komponenten Technologien teils bis hin zu konkreten Lösungen, Bibliotheken, usw. vorgeschlagen. Aufgrund des geringen finanziellen Spielraums wird dabei auf frei verfügbare Werkzeuge und Bibliotheken gesetzt, für die es jedoch teilweise auch kommerzielle Implementierungen gibt. Die folgende Abbildung 4-5 zeigt die Grobarchitektur ergänzt um konkrete Umsetzungstechnologien.

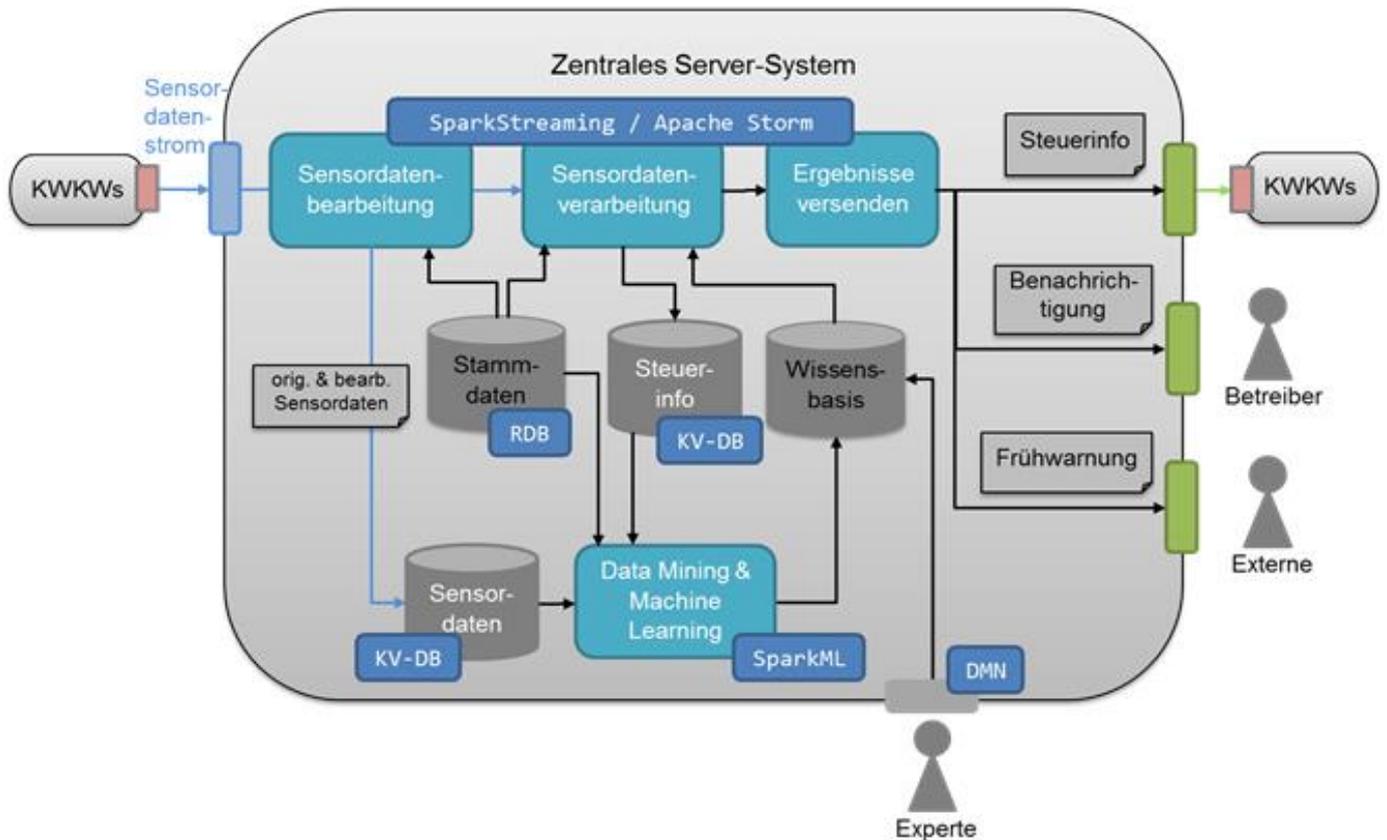


Abbildung 4-5: Gesamtkonzept des Server-Systems, inkl. Technologieaspekte. Quelle: Eigene Darstellung.

## Komponenten des zentralen Servers – Datenhaltung

Das folgende UML-Klassendiagramm (siehe Abbildung 4-6) beschreibt die wesentlichen Klassen des Serversystems und ihre Beziehungen.



## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

übermittelt. An die erste Bearbeitung des eingehenden Sensordatenstroms in der Komponente Sensordatenbearbeitung (siehe Abbildung 4-5), bei der die Messwerte beispielsweise in reale Werte umgerechnet werden, schließen zwei Nutzungsszenarien für diese Daten an. Einerseits wird der Sensordatenstrom in der Sensordatenverarbeitung genutzt, um mithilfe der Wissensbasis aktuelle Steuerempfehlungen für die KWKWs in Echtzeit zu generieren und andererseits wird der Datenstrom für historische Analysen und Lernverfahren in der Komponente „Data Mining & Machine Learning“ gespeichert.

Als grundlegendes Konzept für die Bearbeitung des Datenstroms soll auf Stream Processing zurückgegriffen werden, was eine verteilte Bearbeitung des Datenstroms ermöglicht und somit auch große Datenmengen effizient und skalierbar bearbeitbar macht. Verschiedene Verarbeitungsschritte erfolgen nacheinander auf den Stream, wobei diese Verarbeitungsschritte so aufgebaut werden, dass sie verteilt verarbeitet werden können. Somit wird dieses System auch einfach skalierbar und benötigt keine Spezialhardware, um die erforderliche Leistung zu erbringen.

Als Werkzeuge für das Stream Processing (inkl. Echtzeit) wird das frei verfügbare Open-Source System Apache Spark Streaming (<https://spark.apache.org/streaming/>) empfohlen, das sich in Verbindung mit Apache Storm (<https://storm.apache.org/>), einem System für verteiltes Realtime-Computing, bereits in anderen Projekten eines Projektpartners bewährt hat und auch von zahlreichen großen Unternehmen in der Praxis genutzt wird. Gerade hohe Lasten, die schrittweise ausgebaut werden, können mit diesem System sehr effizient bearbeitet werden, weil das System auch darauf ausgelegt ist, schrittweise mitzuwachsen.

### Komponenten des zentralen Servers – Wissensbasis

Die Wissensbasis enthält ‚Wenn-Dann-Regeln‘ (Wenn X eintritt, wird Y empfohlen), welche in einem ersten Schritt durch Experten im System gepflegt werden. In späteren Ausbaustufen soll es auch möglich werden, dass die Regeln über autonome, selbstlernende Komponenten weiterentwickelt werden.

Die Anzahl der Regeln in der Wissensbasis wird nicht sehr groß sein, weshalb keine Performanceprobleme in diesem Bereich des Systems zu erwarten sind. Daher kann dieser Teil so gewählt werden, dass er sehr gut in die Gesamtimplementierung passt und vor allem die Schnittstellen zum restlichen System sehr gut unterstützt. Eine einfache Speicherung der Regeln in einer konventionellen Datenbank, oder sogar in einer Datei in einem passenden XML-Format würde genügen.

### Komponenten des zentralen Servers – Data Mining und Machine Learning

Neben der Wissensbasis sind die Komponenten für die Datenanalyse und das Maschinelle Lernen ebenso wichtig, da aus den vielen Sensordaten da über die Zeit hinweg ein Mehrwert gewonnen werden soll. Dazu zählen eine gute grafische Aufbereitung der Historie für die Kraftwerksbetreiber, das Optimieren der Regeln in der Wissensbasis (langfristig auch mithilfe komplett autonom lernender Komponenten) aber auch die Gewinnung neuer Erkenntnisse über das Gesamtsystem von KWKWs an einem Fluss.

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Hier kann auf bestehende Implementierungen von Analysewerkzeugen und Machine-Learning-Tools zurückgegriffen werden. Im Bereich der Datenanalyse und -visualisierung stehen eine Reihe von Software-Werkzeugen zur Verfügung, auch sehr gute im Open Source-Bereich. WEKA, RapidMind und KNIME sind nur 3 bekannte Beispiele für entsprechende Werkzeuge.

Im Bereich Machine Learning wird im Besonderen auf Spark ML hingewiesen. Spark ML standardisiert die APIs der Machine Learning Algorithmen und macht sie so besser kombinierbar, um Machine Learning „Pipelines“ zu erstellen und zu tunen. Es wird empfohlen, dieses Framework für die weitere Umsetzung einzusetzen, da es auch auf Apache Spark Streaming aufbaut und somit sehr gut mit den bereits empfohlenen Komponenten zusammen passt.

### Komponenten des zentralen Servers – Schnittstellen

Die Schnittstellen zu den KWKWs sind über die Entwicklung der Platine bereits festgelegt und sollen so auch beibehalten werden. Hinsichtlich der Benachrichtigungen an die Betreiber sollen im ersten Schritt reine Textnachrichten per SMS an die für den Betreiber in der Datenbank hinterlegte Nummer gesendet werden. Da die Anforderungen Dritter im Detail noch nicht festgelegt sind, wird hier grundsätzlich von einer Web-Service-Schnittstelle ausgegangen, die im Zuge eines Folgeprojekts im Detail spezifiziert werden kann.

## **4.3 Nutzen einer Vernetzung von Kleinwasserkraftanlagen**

Im Rahmen des Projektes wurde ein Konzept erstellt (siehe Kapitel 4.2), das es ermöglicht, aktuelle Parameter mehrerer KWKWs innerhalb einer Kraftwerkskette an einem Fluss gemeinschaftlich für verschiedene Zwecke zu nutzen. Ohne in das Ökosystem einzugreifen, soll durch die Vernetzungslösungen die Energieproduktion gesteigert werden sowie die wirtschaftliche Situation der Anlagen verbessert werden. Zudem soll durch die Verbesserung der Prognosegenauigkeit der Erzeugung ein zusätzlicher systemdienstlicher Nutzen generiert werden.

Wie sich herausstellte, kann der tatsächliche Nutzen einer Vernetzung von KWKWs sehr unterschiedlich und vielseitig sein. Aus diesem Grund wurde zunächst eine sogenannte Ereignismatrix erstellt um anhand der relevanten Ereignisse bzw. Situationen bei einer Kleinwasserkraftanlage den Nutzen einer möglichen intelligenten Vernetzung darzustellen. In einem weiteren Schritt wird schließlich auf eine mögliche Effizienzsteigerung der Anlagen bzw. eine Energieproduktionssteigerung infolge der Vernetzung eingegangen.

### **4.3.1 Ereignismatrix**

Im Rahmen der Entwicklung des Grobkonzeptes sowie im Zuge der Erhebung und Analyse relevanter Daten wurde eine sogenannte Ereignismatrix konzeptioniert, in der grundlegende Ereignisse und

# Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

mögliche Reaktionen darauf beschrieben werden und sich in weiterer Folge der jeweiligen Nutzen durch eine Vernetzung ableiten lässt. Dabei wird vor allem auf die Erfahrungswerte der Betreiber von Kleinwasserkraftanlagen zurückgegriffen. Diese Aufzählung kann nicht als abschließend betrachtet werden, da davon ausgegangen werden muss, dass bei jedem individuellen Fluss bzw. jeder Staukette der Betrieb der Wasserkraftwerke durch andere Faktoren beeinflusst bzw. beeinträchtigt wird.

Nachfolgende Tabellen zeigen das Ergebnis der erarbeiteten Ereignismatrix, in der je Ereignis folgende Aspekte behandelt werden:

- Status quo, ohne Vernetzung: Wie wird derzeit auf Ereignis reagiert?
- Mit Vernetzung: Welches Ergebnis/ Welche Reaktion wird von der Vernetzung erwartet?
- Wie erkennt man Ereignis?

**Tabelle 4-1: Ereignismatrix, Teil 1. Quelle: Eigene Darstellung.**

Ereignis: HOCHWASSER	
<b>Status quo, ohne Vernetzung: Wie wird derzeit auf Ereignis reagiert?</b>	Je nach Eintreffen der Wassermenge am Kraftwerk bzw. Anwesenheit des Betreibers wird individuell, präventiv oder auch oft zeitverzögert auf das Hochwasser reagiert. Dabei werden (oft übervorsichtige) Maßnahmen getroffen, meist durch Drosselung der Anlagenleistung (Verringerung des Volumenstroms bzw. der Turbinenöffnung).
<b>Mit Vernetzung: Welches Ergebnis/ Welche Reaktion wird von der Vernetzung erwartet?</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Durch Vernetzung kann die Anlage bis zum Eintreffen des Hochwassers ohne Einschränkungen betrieben werden</li> <li>• Bei Bedarf kann der Betrieb vorrausschauend geregelt werden, um Schwankungen in der Produktion zu minimieren und Produktionsverluste durch zu späte Reaktion zu vermeiden</li> <li>• System stellt erhöhten Pegel beim Oberlieger fest und warnt (möglichst früh) vor bzw. gibt Handlungsvorschlag (Schütz/Klappe, Turbine)</li> <li>• Drosselung der Wasserzufuhr an den Turbinen um Schäden/Verunreinigungen zu vermeiden</li> </ul>
<b>Wie erkennt man Ereignis?</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wettervorhersage und/oder Abflussmessung in Kombination mit einer erhöhten Trübung des Wassers</li> <li>• Pegelüberschreitungen</li> </ul>
Ereignis: NIEDERWASSER	
<b>Status quo, ohne Vernetzung: Wie wird derzeit auf Ereignis reagiert?</b>	Im Fall von Niederwasser werden die Turbinen so lange betrieben, bis sie keine Leistung mehr erbringen können. Dabei befindet sich die Wasserstandsregelung unmittelbar vor der Turbine.
<b>Mit Vernetzung: Welches Ergebnis/ Welche Reaktion wird von der Vernetzung erwartet?</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• System stellt niedrigen Pegel beim Oberlieger und verminderte Turbinenleistung fest und warnt (möglichst früh) vor bzw. gibt Handlungsvorschlag</li> <li>• Verbesserte Wasserstandsregelung kombiniert mit Infos von Oberlieger ermöglicht die frühzeitigere Verringerung des Durchflusses</li> <li>• Produktion kann zeitlich angepasst werden, da geringe Wasserspiegelschwankungen im Stauraum möglich sind</li> <li>• Prognose der Produktion hinsichtlich Regel- und Ausgleichsenergie möglich</li> </ul>
<b>Wie erkennt man Ereignis?</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wasserstandsregler an unterschiedlichen Stellen des Flusses</li> <li>• Durchflussmessung an der Turbine bzw. am Turbinenauslauf Oberlieger in Kombination mit Restwassermenge und Dotierung der Fischaufstiegshilfe</li> </ul>

# Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

**Tabelle 4-2: Ereignismatrix, Teil 2. Quelle: Eigene Darstellung.**

Ereignis: GESCHIEBE	
<b>Status quo, ohne Vernetzung: Wie wird derzeit auf Ereignis reagiert?</b>	Die Betreiber reagieren individuell, jedenfalls zeitverzögert nach Eintreffen des Geschiebes am Kraftwerk. Spülschutz wird manuell geöffnet (oft zu früh, zu spät oder zu lange)
<b>Mit Vernetzung: Welches Ergebnis/ Welche Reaktion wird von der Vernetzung erwartet?</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vorausschauendes Reagieren um Schwankungen in der Produktion zu minimieren, sowie um Produktionsverluste und externe (Baggerungs-)kosten durch zu späte Reaktion zu vermeiden</li> <li>• Gemeinsames Geschiebemanagement: aufeinander abgestimmtes Spülen unter der Berücksichtigung etwaiger Auflagen</li> <li>• Drosselung der Wasserzufuhr an die Turbinen um Schäden und Verunreinigungen zu vermeiden</li> <li>• System (mit hinterlegten Aktivitäten-Kalender) benachrichtigt wenn z.B. Baggerungsarbeiten, Spülungen durchgeführt werden</li> <li>• Infos von Oberlieger werden ausgewertet, anhand dieser Informationen ggf. automatisches Geschiebeprogramm starten (nur bei eigener Anlage)</li> </ul>
<b>Wie erkennt man Ereignis?</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erfassung mit Geophonen (von Kosten abhängig)</li> <li>• Trübungsmessung</li> <li>• Abflussmessung kombiniert mit Turbinenöffnung</li> </ul>
Ereignis: WASSERLÖCHER bei Ausleitungskraftwerken	
<b>Status quo, ohne Vernetzung: Wie wird derzeit auf Ereignis reagiert?</b>	Im Falle von sog. Wasserlöcher bei Ausleitungsanlagen besteht bei Betreibern keine Handlungsmöglichkeit auf Ereignis zu reagieren, sodass die Gefahr eines Kraftwerksausfalls besteht (ähnlich wie bei Niederwasser).
<b>Mit Vernetzung: Welches Ergebnis/ Welche Reaktion wird von der Vernetzung erwartet?</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vorausschauender Betrieb, um einen Ausfall zu verhindern und die Wasserlöcher auszugleichen</li> <li>• Regulierung der Wasserzufuhr, solange eine Aufstauung möglich ist</li> <li>• System stellt niedrigen/schwankenden Pegel beim Oberlieger in Verbindung mit Turbinenleistung fest und warnt (möglichst früh) vor</li> </ul>
<b>Wie erkennt man Ereignis?</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wasserstandsregler an unterschiedlichen Stellen des Flusses</li> <li>• Durchflussmessung an der Turbine bzw. am Turbinenauslauf Oberlieger in Kombination mit Restwassermenge und Dotierung der Fischaufstiegshilfe</li> <li>• Leistungsdaten Oberlieger</li> </ul>
Ereignis: Anlage im Oberlieger / Unterlieger im SCHWALLBETRIEB	
<b>Status quo, ohne Vernetzung: Wie wird derzeit auf Ereignis reagiert?</b>	Derzeit werden Anlagen auf den Schwall abgestimmt. Dabei entsteht eine Aufschaukelungsgefahr, da der eigene Wasserstandsregler den Effekt kopiert bzw. verstärkt.
<b>Mit Vernetzung: Welches Ergebnis/ Welche Reaktion wird von der Vernetzung erwartet?</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Schwallbetrieb sollte vermieden werden können indem Informationen von Oberlieger genutzt werden</li> <li>• Glättung des Schwalls z.B. durch frühzeitiges Öffnen und rechtzeitiges Schließen der Turbine um Aufschaukelungseffekt zu verhindern</li> </ul>
<b>Wie erkennt man Ereignis?</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mitteilung der anderen KWKW über das vernetzte System</li> <li>• Durchflussmessung an der Turbine bzw. am Turbinenauslauf Oberlieger in Kombination mit Restwassermenge und Dotierung der Fischaufstiegshilfe</li> <li>• Leistungsdaten Oberlieger</li> </ul>

# Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

**Tabelle 4-3: Ereignismatrix, Teil 3. Quelle: Eigene Darstellung.**

Ereignis: TREIBGUT, Algenplage & Holzschlägerungen	
<b>Status quo, ohne Vernetzung: Wie wird derzeit auf Ereignis reagiert?</b>	Auf Treibgut, usw. kann derzeit nur in einem bestimmten Ausmaß reagiert werden. Meist werden die aus dem Oberwasser entfernten Teile wieder dem Unterwasser zugeführt (ähnlich wie bei Geschiebe). Durch die teilweise massiven Algenplagen im Herbst sind Grob- und Feinrechen teils massiv verstopft, ein frühzeitiges Erkennen ist dabei nicht möglich.
<b>Mit Vernetzung: Welches Ergebnis/ Welche Reaktion wird von der Vernetzung erwartet?</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Durch Informationsfluss bzw. Vergleiche mit ähnlichen Gewässerstrukturen könnte rechtzeitig reagiert werden um z.B. Rechenintervalle zu erhöhen, Spülklappen zu öffnen, usw. (ähnlich wie bei Geschiebe)</li> <li>● Gemeinsames bzw. koordiniertes Management um Stillstandszeiten bzw. Schäden zu verhindern</li> <li>● System stellt erhöhte Intervalle von Spülvorgängen/Rechenintervallen fest und warnt vor bzw. erhöht selbst die Recheninterwalle und öffnet Spülklappen</li> </ul>
<b>Wie erkennt man Ereignis?</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Abflussmessung kombiniert mit Turbinenöffnung</li> <li>● Trübungsmessung</li> <li>● Visuelle Überwachung</li> </ul>
Ereignis: TRÜBUNGEN	
<b>Status quo, ohne Vernetzung: Wie wird derzeit auf Ereignis reagiert?</b>	Trübungen dienen als optischer Indikator eines an- oder abschwellenden Hochwassers (ähnlich wie bei Geschiebe).
<b>Mit Vernetzung: Welches Ergebnis/ Welche Reaktion wird von der Vernetzung erwartet?</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Optischer Indikator (Lichtsensor) um zeitnah(er) darauf reagieren zu können (ähnlich wie bei Geschiebe)</li> <li>● Automatisiertes, rechtzeitiges Erkennen kritischer Betriebszustände im Zusammenhang mit Feststofftransport (Geschiebe-, Schwebstoffe)</li> <li>● Zusammenhang zwischen Trübung und transportierte Korngröße gegeben um das System zu interpretieren (vgl. Hochwasser/Starkniederschlag)</li> </ul>
<b>Wie erkennt man Ereignis?</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Lichtsensor</li> <li>● Eventuell Leitfähigkeit des Wassers</li> </ul>
Ereignis: GRIEßEISBILDUNG, EISSCHLAMM	
<b>Status quo, ohne Vernetzung: Wie wird derzeit auf Ereignis reagiert?</b>	Dabei kommt es zu einer Verstopfung bzw. zum Einfrieren des Einlaufrechens. Als Gegenmaßnahme werden der Feinrechen und/oder das Rechenhaus beheizt.
<b>Mit Vernetzung: Welches Ergebnis/ Welche Reaktion wird von der Vernetzung erwartet?</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Monitoring der Rechenreinigung</li> <li>● Weitergabe der Information welcher Betreiber seinen Feinrechen beheizt um Stillstandszeit um verringern</li> <li>● Wenigsten Anlagen verfügen über eine Messung der Wassertemperatur, sodass gemeinsamer Sensor genutzt werden kann um das Problem frühzeitig zu erkennen</li> <li>● Bei Bedarf automatisierter Start der Beheizung</li> </ul>
<b>Wie erkennt man Ereignis?</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Benachrichtigung wegen Unterschreitung einer gewissen Wassertemperatur</li> </ul>

# Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

**Tabelle 4-4: Ereignismatrix, Teil 4. Quelle: Eigene Darstellung.**

Ereignis: EISSTOß	
<b>Status quo, ohne Vernetzung: Wie wird derzeit auf Ereignis reagiert?</b>	Bei einem Eisstoß bilden sich Eisplatten (Kälteperiode) welche beim Lösen den Abfluss steigern und den Wasserstand somit anheben. Es kommt zu einer Verstopfung (& Beschädigung) des Einlaufrechens. Als Gegenmaßnahme dienen Schwimmbalken oder Einlaufschütz.
<b>Mit Vernetzung: Welches Ergebnis/ Welche Reaktion wird von der Vernetzung erwartet?</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Frühzeitiges Erkennen und somit besseres Reagieren auf Eisstoß um Schäden zu vermeiden</li> <li>• Meldung des Systems an unterliegende Betreiber, damit diese notwendige Maßnahmen ergreifen können</li> <li>• Mögliche Maßnahme wäre Schützöffnung am Einlauf zu verkleinern, eine gemeinsame Spülung der Eisplatten, die Feinrechen zu beheizen sowie die Rechenintervalle zu vergrößern</li> </ul>
<b>Wie erkennt man Ereignis?</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Temperaturabfall beim Wasser durch gemeinsamen Sensor</li> <li>• Videoüberwachung</li> <li>• Interpretation der Wetterverhältnisse (Temperatur, Niederschlag)</li> </ul>
Ereignis: GEPLANTE KW-Abschaltungen im Oberlieger / Unterlieger (Urlaub, Instandhaltung, usw.)	
<b>Status quo, ohne Vernetzung: Wie wird derzeit auf Ereignis reagiert?</b>	Sofern sich Wasserstände im Zuge der Abschaltungen ändern, reagiert die Maschine autonom bzw. reagiert der Wasserstandsregler, bei Niederwasser ergeben sich dann meist Wasserlöcher.
<b>Mit Vernetzung: Welches Ergebnis/ Welche Reaktion wird von der Vernetzung erwartet?</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Durch Vernetzung können die Einflüsse von plötzlichen Änderungen vermieden oder ausgeglichen werden (ähnlich wie bei Wasserlöcher)</li> <li>• System (mit hinterlegten Aktivitäten-Kalender) benachrichtigt rechtzeitig wenn Abschaltung ansteht/warnt vor und informiert wenn Oberlieger tatsächlich stillsteht</li> <li>• Manuelle Eingabe ermöglicht die Informationsweitergabe an Unterlieger</li> </ul>
<b>Wie erkennt man Ereignis?</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mitteilung an die anderen KWKW über das vernetzte System</li> <li>• Automatisierte Stillstandsmeldung an das System</li> </ul>
Ereignis: UNGEPLANTE KW-Abschaltungen im Oberlieger / Unterlieger (Unfälle, usw.)	
<b>Status quo, ohne Vernetzung: Wie wird derzeit auf Ereignis reagiert?</b>	Sofern sich Wasserstände im Zuge der Abschaltungen ändern, reagiert die Maschine autonom bzw. reagiert der Wasserstandsregler, bei Niederwasser ergeben sich dann meist Wasserlöcher.
<b>Mit Vernetzung: Welches Ergebnis/ Welche Reaktion wird von der Vernetzung erwartet?</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Durch Vernetzung können die Einflüsse von plötzlichen Änderungen vermieden oder ausgeglichen werden (ähnlich wie bei Wasserlöcher)</li> <li>• System gibt Auftreten und Grund der Abschaltung an Unterlieger so bald wie möglich weiter</li> </ul>
<b>Wie erkennt man Ereignis?</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mitteilung der anderen KWKW über das vernetzte System</li> <li>• Automatisierte Stillstandsmeldung an das System</li> </ul>
Ereignis: Signifikante ENTWÄSSERUNGEN	
<b>Status quo, ohne Vernetzung: Wie wird derzeit auf Ereignis reagiert?</b>	Auf (Felder-)Entwässerungen kann derzeit nur in einem bestimmten Ausmaß reagiert werden. Diese Problemstellung ist jedoch nur in wenigen Teilen Österreichs relevant, zudem tritt es meist in Gebieten mit geringen Wasserkraftpotentialen auf (z.B. an der Thaya).
<b>Mit Vernetzung: Welches Ergebnis/ Welche Reaktion wird von der Vernetzung erwartet?</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Koordiniertes Vorgehen ist in diesem Fall nicht möglich</li> <li>• Anpassung des Fahrplans und Meldung an Unterlieger</li> </ul>
<b>Wie erkennt man Ereignis?</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Automatischer Abgleich der Abflussprognose mit einer Echtzeitkurve um unerwartete Abweichungen zu erkennen</li> </ul>

### 4.3.2 Erhöhung der Energieproduktion von KWKWs durch Vernetzung

Eine Erhöhung der Energieproduktion kann bei Kleinwasserkraftanlagen durch unterschiedliche Maßnahmen erreicht werden. An dieser Stelle werden jedoch nur jene Maßnahmen zur Energieproduktionssteigerung betrachtet, die im Falle einer Vernetzung von KWKWs möglich sind.

Dabei sei erwähnt, dass Schätzungen zufolge mehr als 60% der bestehenden Kleinwasserkraftanlagen mit veralteten Regeleinrichtungen ausgestattet sind, wobei alleine durch die Modernisierung der Steuerung (keine Vernetzung!) die Energieausbeute um bis zu 10% erhöht werden könnte [2] [7]. Demnach besteht alleine in der Modernisierung der Steuerung von Kleinwasserkraftwerken ein erhebliches Potential, was vor allem auf die veralteten Regeleinrichtungen zurückzuführen ist.

Wie bereits dargestellt, erfolgt die Entwicklung der Konzeption einer Vernetzung von KWKWs am oberösterreichischen Fluss Alm. Im Zuge des Projektes wurden an diesem Fluss an den 3 Kraftwerksstandorten Redlmühle, Lippenannerl und Forstsgmühle zwischen Juni 2016 und April 2017 Daten wie Wasserstände, Rechenreinigungsintervalle, Öffnung der Turbine, elektrische Leistung, usw. aufgezeichnet. Anhand des Kraftwerks Lippenannerl mit einer Engpassleistung von 180 kW und einem Jahresarbeitsvermögen von ca. 1,2 GWh wurden folgende unterschiedliche Ereignisse in Anlehnung an die Ereignismatrix bewertet um eine Vernetzung zu simulieren:

- Frühzeitige und zu späte Drosselung des Durchflusses
- Baggerung Ausleitung
- Verklausung Feinrechen
- Wasserlöcher

Bewertet man jedes Ereignis im Falle einer Vernetzung und vergleicht das Ergebnis mit dem Status quo, ohne Vernetzung, so lässt sich für das Kraftwerk eine Steigerung der Stromerzeugung aufgrund geringerer Stillstandszeiten errechnen. Somit lässt sich für die Kleinwasserkraftanlage Lippenannerl infolge der Vernetzung für den Zeitraum von einem Jahr eine **Energieerzeugungssteigerung von 2,7%** abschätzen.

## 4.4 Potentialanalyse und techno-ökonomische Bewertung

### 4.4.1 Potentialanalyse für Oberösterreich und Österreich

Begleitend zur Erarbeitung des Grobkonzepts, der Datenerhebung und –analyse sowie der Umsetzungskonzeption einer Vernetzung von KWKWs erfolgte eine Potentialanalyse an Oberösterreichs und Österreichs Gewässern. Die Abschätzung des Potentials erfolgte dabei unter Berücksichtigung der topografischen Möglichkeiten zur intelligent vernetzten Kette von Kleinwasserkraftwerken an den oberösterreichischen und österreichischen Fließgewässern.

Um das Potential an Vernetzungslösungen für Kleinwasserkraftanlagen ermitteln zu können, mussten in einem ersten Schritt Kriterien definiert werden, nach denen nur jene Anlagen berücksichtigt werden, die

# Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

sich für eine Vernetzung eignen. Dabei kamen folgende Auswahlkriterien zum Einsatz:

- WKAs mit  $10 \text{ kW} < \text{Engpassleistung} < 10 \text{ MW}$
- Gewässer mit intensiver Nutzung ( $>1$  Anlage je Gewässer)
- Gemischte Eigentümerstruktur
- Keine Stauketten, Speicher- und Pumpspeicher

Für die Potentialberechnung an Oberösterreichs Gewässern wurden vor allem Daten aus Vorprojekten herangezogen, insbesondere aus der vom Energieinstitut an der JKU erarbeiteten Studie „Oö. Wasserkraftpotentialanalyse 2012/13“, in der das Revitalisierungs- und Ausbaupotential an umweltgerechten Standorten an mittleren und größeren Gewässern in Oberösterreich abgeschätzt und evaluiert wurde [3]. Anders gestaltete sich die Potentialanalyse für Österreich, was auf die teilweise lückenhafte bzw. nicht einheitliche Datenqualität der einzelnen Bundesländer zurückzuführen ist. Aus diesem Grund wurden dazu die Daten bzw. Statistiken unterschiedlicher Quellen (Statistik Austria, Verein Kleinwasserkraft, E-Control) herangezogen und mit einer Hochrechnung der Ergebnisse für Oberösterreich abgeglichen. Somit wurden unter Anwendung der zuvor definierten Kriterien die Anzahl der Wasserkraftanlagen in Oberösterreich sowie Österreich gefiltert, die sich für eine Vernetzung eignen würden. Zudem erfolgte eine Abschätzung der möglichen Steigerung der Energieproduktion infolge einer intelligenten Vernetzung auf Basis des jeweiligen Jahresarbeitsvermögens der Anlagen. Hinsichtlich der möglichen Energieproduktionssteigerung wird in Anlehnung an die unter Kapitel 4.3.2 dargestellten Literaturwerte (insbesondere bzgl. Modernisierung der Steuerung) sowie abgeschätzte Ertragssteigerung am Alm-Kraftwerk Lippenannerl von einer allgemeinen **Effizienzsteigerung durch Vernetzung von 3%** ausgegangen. Somit ergibt sich das in folgender Tabelle dargestellte Potential an Vernetzungslösungen von KWKWs in Oberösterreich sowie Österreich.

**Tabelle 4-5: Ergebnis der Potentialanalyse für OÖ und Ö. Quelle: Eigene Berechnung und Darstellung.**

Potentialanalyse für Vernetzung von KWKWs		
	Oberösterreich	Österreich
Anzahl der Wasserkraftanlagen	655 Anlagen	2.195 Anlagen
Jahresarbeitsvermögen	498 GWh	3.190 GWh
Steigerung der Energieproduktion	14,9 GWh	95,7 GWh

Wie in Tabelle 4-5 dargestellt, würde sich unter der Annahme einer 3%-igen Steigerung das Jahresarbeitsvermögen der 655 Anlagen in OÖ um 15 GWh erhöhen, was einem Anteil von 0,15% der gesamten Wasserkraftproduktion in OÖ (inkl. Großwasserkraft) entspricht. Für Österreich wurde hingegen eine gesteigerte Ertragssteigerung von 96 GWh bzw. 0,25% der gesamten österreichischen Wasserkraftproduktion ermittelt.

Allgemein ist zu berücksichtigen, dass die Potentialanalyse aufgrund mehrerer Annahmen durchgeführt wurde. Unter anderem wird allen relevanten Anlagen dieselbe Energieproduktionssteigerung unterstellt wie jenen Anlagen an der Alm. Jedoch konnte durch einen Abgleich mithilfe von Plausibilitätschecks

sowie Expertenmeinungen sowohl für OÖ als auch für Ö ein nicht zu vernachlässigendes Potential ermittelt werden.

## 4.4.2 Techno-ökonomische Bewertung

Nachdem in den vorherigen Kapitel der Nutzen einer Vernetzung von KWKWs dargestellt wurde und für eine erfolgreiche Kosten-Nutzen-Analyse ebenso eine ökonomische Betrachtung benötigt wird, erfolgt an dieser Stelle eine techno-ökonomischen Bewertung, wobei methodisch nach der Annuitätenmethode gemäß ÖNORM M 7140 [5] bzw. VDI 6025 [6] sowie dem Prinzip der Lernkurven vorgegangen wurde.

### Untersuchungsrahmen & Systemgrenzen

In einem erste Schritt wird der Untersuchungsrahmen bzw. werden die zu untersuchenden Varianten sowie die Systemgrenzen definiert. Die Varianten werden entsprechend der Situation an der Alm sowie den Ergebnissen der Potentialanalysen festgelegt, ergänzt um Varianten, die eine Verallgemeinerung der Ergebnisse zulassen. Demnach wurden folgende Varianten für die techno-ökonomische Analyse gewählt.

**Tabelle 4-6: Untersuchungsrahmen der techno-ökonomischen Bewertung. Quelle: Eigene Berechnung und Darstellung.**

Varianten der techno-ökonomischen Bewertung		
Anzahl an Vernetzungslösungen	Jahresarbeitsvermögen	Steigerung Energieproduktion
10	8,1 GWh	0,24 GWh
55 (Alm)	45,4 GWh	1,4 GWh
100	76,6 GWh	2,3 GWh
655 (OÖ)	498 GWh	14,9 GWh
1.000	1.294 GWh	38,8 GWh
2.195 (Ö)	3.190 GWh	95,7 GWh

Wie in Tabelle 4-6 angeführt, wurden 6 Varianten einer Bewertung unterzogen. Die Werte für das Jahresarbeitsvermögen sowie die Steigerung der Energieproduktion wurden dabei den Resultaten aus der Potentialanalyse entnommen, aus denen die Werte für die Varianten 10, 100 und 1.000 Vernetzungslösungen interpoliert wurden.

Gegenstand der Bewertung ist ausschließlich das Vernetzungssystem, nicht jedoch die jeweiligen Kraftwerksanlagen. Somit werden nur die Kosten, die für die Vernetzung anfallen mit der aus einer Vernetzung resultierenden Energieproduktionssteigerung gegenübergestellt.

### Lernrate

Konkrete Kosten, die für die ökonomische Betrachtung benötigt werden, liegen ausschließlich für die an der Alm analysierten Anlagen vor. Analog zu anderen technologischen Entwicklungen und Innovationen

# Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

minimieren sich jedoch die spezifischen Investitionskosten mit steigenden Stückzahlen, sodass für die hier untersuchten Varianten das Prinzip der Lernrate angewendet wird. Der Ansatz der Lernrate dient dazu, die zukünftigen Investitionskosten einer Technologie, die sich noch in der Entwicklungsphase befindet, abschätzen zu können [8]. Diese Theorie des technologischen Lernens basiert auf dem Prinzip, dass mit zunehmenden Mengen (Einheiten) einer bestimmten Technologie, in der gegenständlichen Betrachtung der Vernetzung von KWKWs, die Kosten je Einheit sinken. So besagt eine Lernrate von z.B. 20% dass sich bei Verdopplung der kumulierten Produktion die Kosten je produzierter Einheit um 20% verringern. Unter den verschiedenen Lernraten-Konzepten eignet sich insbesondere der Ansatz der *One-Factor-Learning-Curve (OLFC)* für die KWKW-Vernetzung. Folgende Formel zeigt dazu die zu ermittelnden Investitionskosten  $K_t$  zum Zeitpunkt  $t$ , die sich aus den Investitionskosten  $K_0$  zum Zeitpunkt  $t=0$ , den kumulierten installierten Vernetzungslösungen  $Q_t$  und  $Q_0$  und dem sogenannten *learning index*  $\alpha$  berechnen lassen [9].

$$K_t = K_0 \left( \frac{Q_t}{Q_0} \right)^{-\alpha}$$

Folgende Formel zeigt schließlich den Zusammenhang zwischen der *Lernrate*  $lr$  und *Lernindex*  $\alpha$ .

$$lr = 1 - 2^{-\alpha}$$

In der Analyse von Lernraten ist festzustellen, dass diese bei verschiedenen Technologie sowie für verschiedene Zeiträume unterschiedliche sein kann, temporär kann eine Lernrate auch negativ sein, wenn z.B. erkannt wird, dass zusätzliche Anforderungen an Technologien gestellt werden [8].

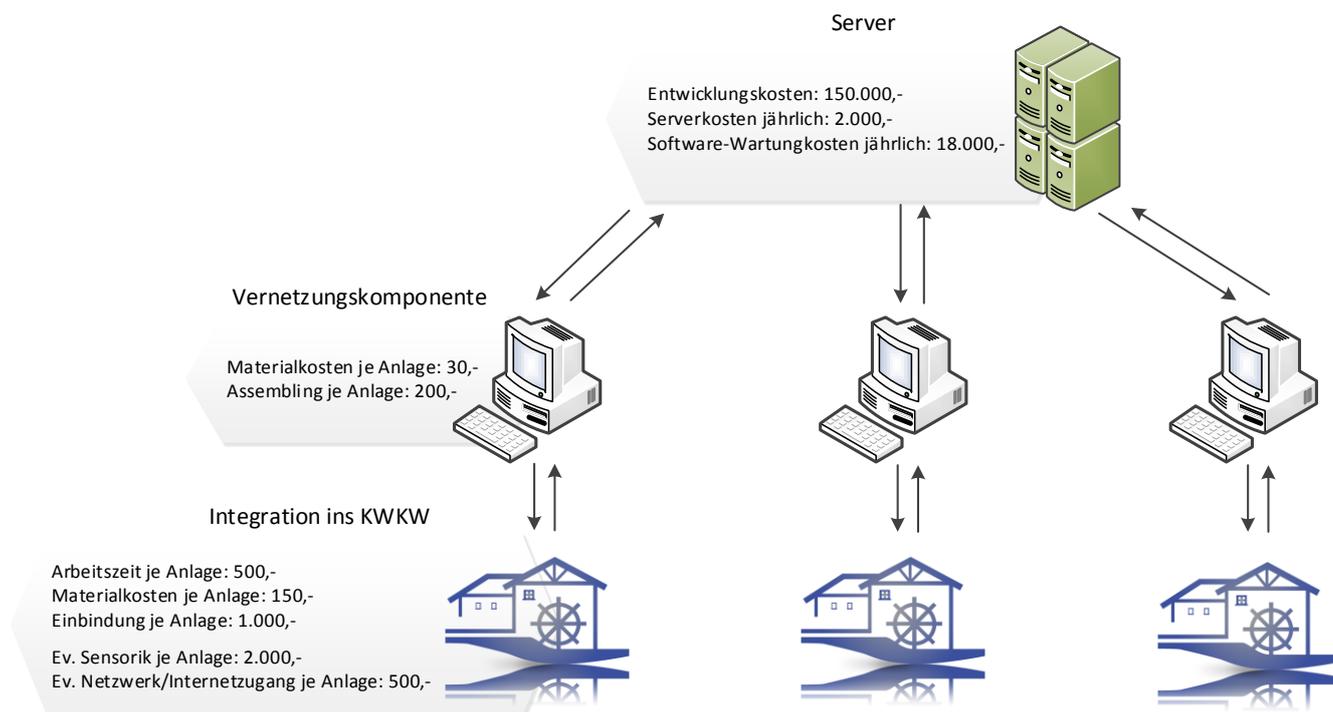
Im Falle der intelligenten Vernetzung wird das Lernraten-Konzept ausschließlich für die Vernetzungseinheit angewendet, die bei jeder KWKW-Anlage erforderlich ist. Die Kosten dafür setzen sich aus den Kosten für Material, Assembling, Arbeitszeit, Sensorik sowie für die Einbindung der Vernetzungskomponente in die KW-Steuerung zusammen. In Anlehnung an entsprechende Literatur gemäß [8] und [10] wird für die techno-ökonomische Bewertung der **Vernetzungseinheit** von einer **Lernrate in der Höhe von 10%** ausgegangen.

## Investitionskosten

Zunächst erfolgt eine Darstellung der Investitionskosten für die Vernetzungslösungen anhand einer Kostenabschätzung für die 3 Standorte an der Alm (Redlmühle, Lippenannerl und Forstsagmühle), an denen die Erhebung und Analyse relevanter Daten vorgenommen wurde. Diese Kosten basieren auf konkreten Abschätzungen der Projektpartner.

# Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG



**Abbildung 4-7: Abschätzung der Investitionskosten für 3 Standorte. Quelle: Eigene Berechnung und Darstellung.**

Gemäß diesen Angaben ergeben sich für die dezentralen Vernetzungseinheiten im Falle der 3 Standorte Kosten in Höhe von 4.380 EUR je Einheit, die sich aus Kosten für Material, Assembling, Arbeitszeit und Einbindung zusammensetzen. Unter Anwendung der Lernrate (10%) lassen sich nun die Kosten bei steigender Anzahl an Vernetzungslösungen ermitteln, wie in folgender Abbildung dargestellt ist.

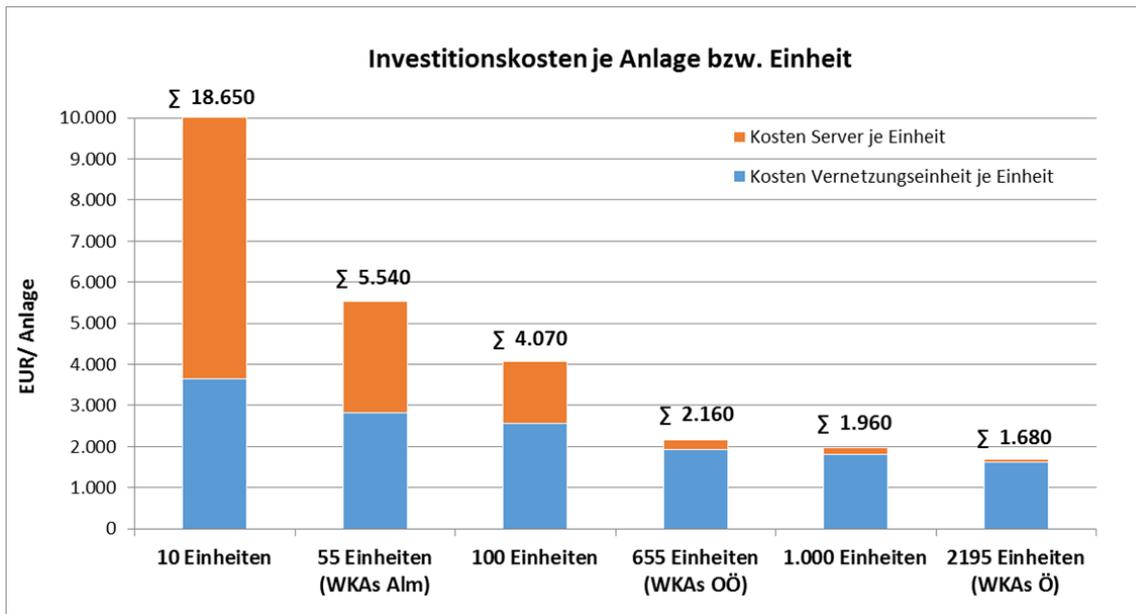


Abbildung 4-8: Investitionskosten für unterschiedliche Einheiten an Vernetzungslösungen. Quelle: Eigene Berechnung und Darstellung.

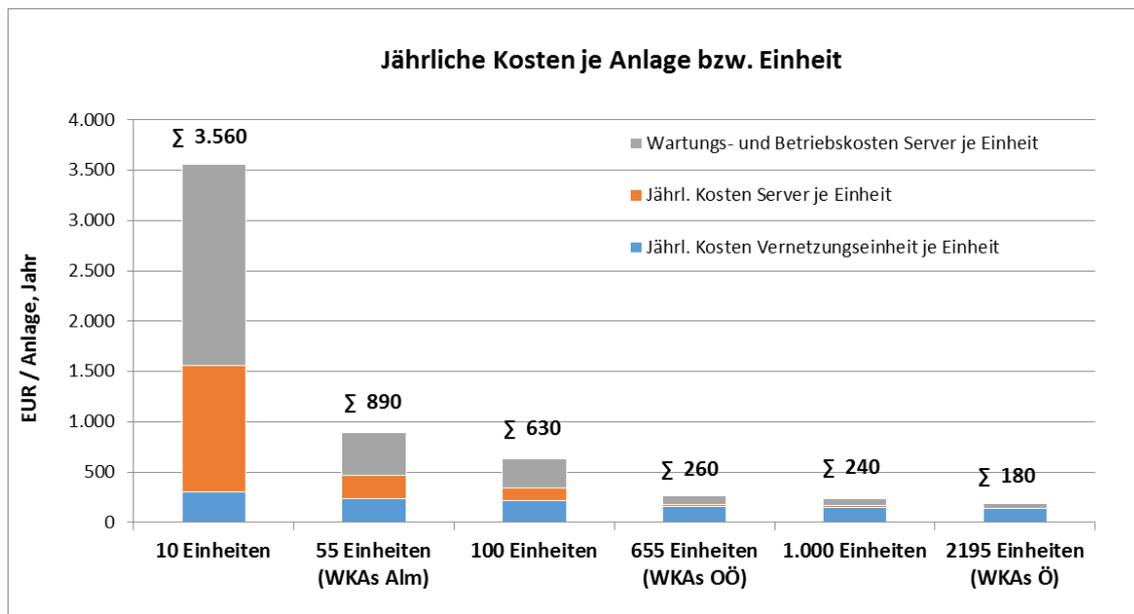
Abbildung 4-8 zeigt die kalkulierten Investitionskosten für die unterschiedlichen Einheiten an Vernetzungslösungen. Dabei ist festzustellen, dass die Kosten für die dezentrale Vernetzungseinheit je Anlage mit steigender Anzahl an Anlagen gemäß der angenommenen Lernrate von 10% abnehmen. So betragen die Kosten für eine Vernetzungseinheit bei 10 Anlagen noch über 3.600 EUR, während diese bis auf 1.600 EUR je Einheit fallen, sofern alle relevanten Kleinwasserkraftanlagen in Österreich damit ausgestattet würden. Die hohen (Entwicklungs-)Kosten für den zentralen Server teilen sich auf die an der Vernetzung beteiligten Anlagen auf, sodass bei wenigen Anlagen noch hohe Kosten umgewälzt werden, was jedoch bei steigender Anzahl an Anlagen stark abnimmt.

### Jahresgesamtkosten

Aufbauend auf die quantifizierten Investitionskosten werden in weiterer Folge die jährlichen Gesamtkosten je Variante dargestellt. Dazu erfolgt die Anwendung der Annuitätenmethode unter den Rahmenbedingungen eines Betrachtungszeitraums bzw. einer Nutzungsdauer der Technologien von 15 Jahren und einem Kalkulationszinssatz von 3%. Für Wartungs- und Betriebskosten für den Server sowie für Softwareupdates wurden bei wenigen Anlagen insgesamt jährlich 20.000 EUR bzw. 2.000 EUR/Anlage bei 10 Einheiten abgeschätzt, was jedoch bei 1.000 Einheiten durch einen beträchtlichen Mehraufwand bis auf 72.000 EUR/a steigert, je Anlage jedoch nur mehr 72 EUR jährlich ausmacht.

# Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

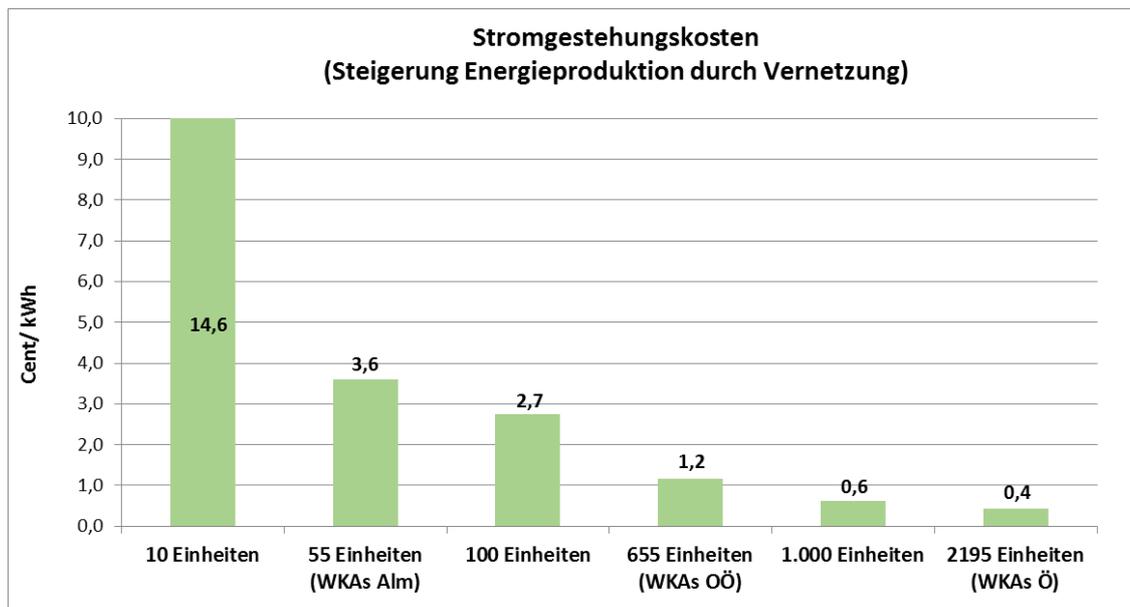


**Abbildung 4-9: Jahresgesamtkosten für unterschiedliche Einheiten an Vernetzungslösungen. Quelle: Eigene Berechnung und Darstellung.**

Wie in Abbildung 4-9 dargestellt, nehmen die jährlichen Gesamtkosten mit steigender Anzahl an Vernetzungslösungen stetig ab, was auf die angewendete Lernrate aber auch auf die aufzuteilenden Serverkosten auf immer mehr Anlagen zurückzuführen ist. Wie zu erkennen ist, betragen die Jahresgesamtkosten ab 55 Anlagen, was der Anzahl aller Wasserkraftanlagen an der Alm entspricht, lediglich 890 EUR je Anlage und Jahr. Diese Gesamtkosten sinken bis auf jährlich 180 EUR je Jahr im Falle des österreichweiten Gesamtpotentials von 2.195 Anlagen.

## Stromgestehungskosten

Im letzten Schritt der techno-ökonomischen Bewertung erfolgt die Quantifizierung der Gestehungskosten aufgrund der durch eine Vernetzung gesteigerten Energieproduktion, in dem die zuvor quantifizierten jährlichen Gesamtkosten der jeweiligen Variante in Relation zur zusätzlichen Stromproduktion gesetzt werden.



**Abbildung 4-10: Stromgestehungskosten für unterschiedliche Einheiten an Vernetzungslösungen. Quelle: Eigene Berechnung und Darstellung.**

Abbildung 4-10 zeigt die Stromgestehungskosten für die untersuchten Varianten, startend bei 10 Einheiten bis zu 2.195 Vernetzungslösungen. Hierbei zeigen sich sehr hohe Gestehungskosten bei nur 10 umgesetzten Anlagen, v.a. aufgrund der hohen Serverkosten. Ab 55 bzw. 100 Anlagen zeigen sich jedoch deutlich niedrigere spezifische Kosten (3,6 bzw. 2,7 cent/kWh), wie sie auch mit anderen Maßnahmen zur Effizienzsteigerung bei Wasserkraftanlagen erzielt werden könnten. So liegen diese im Bereich der Gestehungskosten von Maßnahmen wie Anhebung der Fallhöhe, Erneuerung der Turbinen oder Einsatz von Restwasserturbinen [11].

### 3.1.1 Volkswirtschaftliche und sozioökonomische Simulationsanalyse

Die volkswirtschaftliche Analyse fokussiert die Frage, welcher makroökonomische Beitrag in Form von zusätzlichem Bruttoregionalprodukt, Konsum (der privaten Haushalte), Investitionen (der Unternehmen), Nettoexporten (Exporte – Importe) und zusätzlichen Beschäftigten durch die Implementierung der Vernetzungssoftware in sämtlichen Kleinwasserkraftwerken in Österreich. Im Mittelpunkt steht dabei im Vergleich zur betriebswirtschaftlichen Untersuchung nicht die Mikroebene (Endverbraucher, Unternehmen), sondern die gesamte Volkswirtschaft Österreichs.

Als Instrument der volkswirtschaftlichen Analyse dient das am Energieinstitut an der Johannes Kepler Universität Linz entwickelte Simulationsmodell MOVE2 (Modell zur Simulation der (ober)österreichischen Volkswirtschaft mit Schwerpunkt Energie), welches zur detaillierten Analyse ökonomischer Veränderungen sowie insbesondere Veränderungen am Energiemarkt in (Ober)Österreich entwickelt wurde. Das Simulationstool ist als makroökonomisches Modell konzipiert, welches zusätzlich zur Modellierung verschiedener Sektoren die Energieflüsse von unterschiedlichen Energieträgern in (Ober)Österreich genauestens beleuchtet. Das Modell MOVE2 sowie das Vorgängermodell MOVE

# Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

wurden in zahlreichen Untersuchungen zur Beantwortung energie- und umweltökonomischer Fragestellungen auf regionaler und nationaler Ebene genutzt. Im Jahr 2013 erfolgten ein Update der Datenbasis des Modells sowie eine dadurch notwendige Anpassung der Gleichungsstrukturen. In Folge der Entwicklung des Zusatzmoduls MOVE2social wurden sozioökonomische Parameter integriert. Für eine detaillierte Übersicht hinsichtlich Modelleckdaten, Module und Einsatz des Modells sei auf [12] verwiesen.

Die makroökonomische Evaluierung wird im vorliegenden Projekt für die Implementierung der Vernetzungssoftware in sämtlichen Kleinwasserkraftwerken in Österreich vorgenommen. Als Basis für die dynamische Simulationsanalyse anhand von MOVE2 dienen die Investitions- und Kostenberechnungen der betriebswirtschaftlichen Analyse sowie die Ergebnisse der zusätzlichen Stromproduktion. Der geographische Fokus der Simulationen liegt auf Österreich und die Simulationen wurden für einen Zeitraum von 10 Jahren durchgeführt.

## Inputdaten der Simulationsanalyse

Im Folgenden werden die Inputdaten für die makroökonomische Simulationsanalyse ausgehend von den Investitions- und Kostenberechnungen der betriebswirtschaftlichen Analyse sowie die energetischen Effekte der zusätzlichen Stromproduktion dargestellt.

Folgende Tabelle zeigt die geschätzten Investitionskosten, die zur Implementierung der Vernetzungssoftware in sämtlichen Kleinwasserkraftwerken in Österreich notwendig sind. In der Simulation wird angenommen, dass diese Implementierung nicht innerhalb eines Jahres vorgenommen wird, sondern diese in einem Zeitraum von fünf Jahren durchgeführt wird (die in folgender Tabelle dargestellten Investitionskosten wurden auf die fünf Jahre gleichverteilt aufgeteilt).

**Tabelle 4-7: Geschätzte Investitionskosten zur Implementierung der Vernetzungssoftware in sämtlichen Kleinwasserkraftwerken. Quelle: Eigene Berechnungen basierend auf Daten der betriebswirtschaftlichen Analyse.**

Investitionen	
Hardware	2.200.000 €
Software	600.000 €
Dienstleistungen	900.000 €

Durch die Implementierung der Software entstehen allgemeine Betriebskosten und –einsparungen. Die zusätzlichen Betriebskosten beziehen sich auf die Wartung der Hard- und Software, die Betriebseinsparungen auf eingesparte Arbeitsstunden, die zur Steuerung der Kleinwasserkraftwerke anstelle der Software notwendig wären. Durch die Implementierung der Vernetzungssoftware wird zudem die aktuelle Stromproduktion erhöht. Dies führt zu einer zusätzlichen Produktion von ca. 96 GWh Strom pro Jahr (diese substituieren Strom, der ansonsten aus dem Ausland importiert wird).

# Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

**Tabelle 4-8: Jährliche Betriebs- und Nebenkosten durch Implementierung der Vernetzungssoftware (bei Vollbetrieb). Quelle: Eigene Berechnungen basierend auf Daten der betriebswirtschaftlichen Analyse.**

Betriebs- und Nebenkosten	
Betriebskosten	100.000 €
Betriebseinsparungen	5.600.000 €
Energieträgereinsparungen	3.100.000 €

Anmerkungen: Bei der Berechnung der Energieträgereinsparung wurde für den Untersuchungszeitraum von einem Strompreis von 33 €/MWh ausgegangen. Die Betriebseinsparungen auf eingesparte Arbeitsstunden beziehen sich auf durchschnittliche Entlohnung für Überstunden lauf KV für Angestellte der Elektrizitätsversorgungsunternehmen (DG IV).

## Annahmen & Vorgehensweise innerhalb der Simulationen

Aus wissenschaftlicher Sicht erweist es sich als unerlässlich, zur Analyse des volkswirtschaftlichen Nutzens der Implementierung der Vernetzungssoftware verschiedene Annahmen zu treffen. Diese lauten in kompakter Form:

- Annahme 1: Simulationshorizont: Basierend auf den vorhandenen Inputdaten für die dynamische Analyse wird die volkswirtschaftliche Bedeutung der Implementierung der Vernetzungssoftware innerhalb eines 10-jährigen Zeitraumes dargestellt. Die Investitionen zur Installation der Software werden in den ersten fünf Jahren gleichverteilt getätigt. Der Betrieb der Kleinkraftwerke mit Vernetzungssoftware erfolgt damit Schrittweise ab dem ersten Jahr. Ab dem fünften Jahr erfolgt der Vollbetrieb der Vernetzungssoftware in den Kleinwasserkraftwerken.
- Annahme 2: Geografischer Bezug: In der Studie wird die volkswirtschaftliche Relevanz der Implementierung der Vernetzungssoftware in den KKW's für ganz Österreich analysiert.
- Annahme 3: Datengrundlage: Als Basis für die dynamische Simulationsanalyse anhand von MOVE2 dienen die Investitions- und Kostenberechnungen der betriebswirtschaftlichen Analyse.
- Annahme 4: Wertschöpfungsanteile: Als Wertschöpfungsanteile an den betrachteten Technologien wird innerhalb der Simulationen ein Anteil von 50% angenommen. Dabei wird angenommen, dass die Wertschöpfungsanteile über dem betrachteten Zeitraum konstant bleiben. Ein verbleibender Wertschöpfungsanteil von 50% bedeutet, dass 50% der getätigten Investitionen in ausländische Produkte und Dienstleistungen fließen (vor allem Hardware). Das heißt, es entstehen keine nachgelagerten positiven volkswirtschaftlichen Effekte für die betrachtete Region durch diese 50% der Investitionen.
- Annahme 5: Investitionswirksamkeit und Finanzierung: Die notwendigen Investitionen zur Implementierung der Software werden in den Sektoren Energiewirtschaft, Sachgütererzeugung, Kredit- und Versicherungswesen sowie Realitäten- und Unternehmensdienstleistungen wirksam.

Unternehmen stehen vor der Entscheidung, ob sie auf Veränderungen in der Kostenstruktur mit einer Substitution innerhalb der Investitionen bzw. des Konsums oder mit einer Veränderung ihrer Rücklagen bzw. Ersparnisse reagieren. Der Anteil der durch Rücklagen-finanzierte Investitionen wird auf zwei Drittel gesetzt.

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Die Simulation mit dem Modell MOVE2 umfasst die Berechnung von zwei verschiedenen Pfaden, auf denen sich die oberösterreichische Volkswirtschaft befindet. Der erste Entwicklungspfad errechnet die zukünftige Entwicklung der im Modell endogenen Variablen (unter einer bestimmten Definition der zukünftigen Entwicklung der exogenen Variablen), ohne Eingriff in bestimmte Parameter des Modells. Dieser Entwicklungspfad kann als business-as-usual-Szenario bezeichnet werden. Der zweite Entwicklungspfad, das Simulationsszenario, errechnet die zukünftige Entwicklung aller endogenen Variablen bei Veränderung eines bestimmten Parameters (endogen oder exogen) durch den Anwender des Simulationsmodells. Demnach sind die Ergebnisse als zusätzliche Effekte, welche ohne die Implementierung der Software in den Kleinwasserkraftwerken nicht stattgefunden hätten, zu interpretieren.

### Ergebnisse

Die Simulation der volkswirtschaftlichen Auswirkungen der Implementierung der Software in den Kleinwasserkraftwerken in Österreich zeigt einen positiven volkswirtschaftlichen Nutzen in Form einer Erhöhung des Bruttoinlandproduktes innerhalb des Betrachtungszeitraums auf.

Die positiven volkswirtschaftlichen Entwicklungen basieren auf den folgenden Faktoren:

1. Investitionen der Unternehmen infolge der Implementierung der Software;
2. Steigerung der Wertschöpfung der Kleinwasserkraftwerke durch zusätzliche Stromproduktion und eingesparte Arbeitszeit;
3. einem Rückgang der energetischen Importe (Steigerung der Nettoexporte) infolge der zusätzlichen Stromproduktion;
4. Mehrrundeneffekten aus 1. – 3.

Gegenüber einer Situation ohne die Implementierung eines Großwärmespeichers zeigt die makroökonomische Simulationsanalyse eine Erhöhung des Bruttoinlandproduktes um ca. 25 Mio. € in Jahr 5 und um 30 Mio. € in Jahr 10. Dies entspricht einem um durchschnittlich ca. 21 Mio. € höheren Bruttoregionalprodukt pro Jahr in Oberösterreich während der gesamten Beobachtungsperiode (Jahr 1 bis 10). Die Treiber der zusätzlichen Wertschöpfung sind neben den Investitionsimpulsen in den ersten fünf Jahren die eingesparte Arbeitszeit sowie insbesondere die Substitution der Energieträgerimporte durch die zusätzliche Stromproduktion. Dadurch ergeben sich positive Effekte auf die Leistungsbilanz in der Höhe von durchschnittlich ca. 16 Mio. € pro Jahr.

Durch die Investitionen sowie das Wirtschaftswachstum wird auch der Produktionsfaktor Arbeit positiv beeinflusst, wodurch zusätzliche Beschäftigungsverhältnisse generiert werden. Die signifikantesten Beschäftigungseffekte in Form von zusätzlich ca. 55 Beschäftigten sind im Jahr 5 als Resultat der Investitionstätigkeiten durch die Implementierung der Software zu verzeichnen. Zusätzliche Beschäftigungsverhältnisse führen wiederum zu einem höheren Konsum, sodass auf diesem Weg wiederum eine Ankurbelung der Volkswirtschaft stattfindet. Das Wirtschaftswachstum bewirkt zudem eine Erhöhung der Exportquote nicht-energetischer Güter infolge einer erhöhten regionalen Produktion,

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

sodass sich in Kombination mit der Reduktion der energetischen Importe eine Erhöhung der Nettoexporte ergibt.

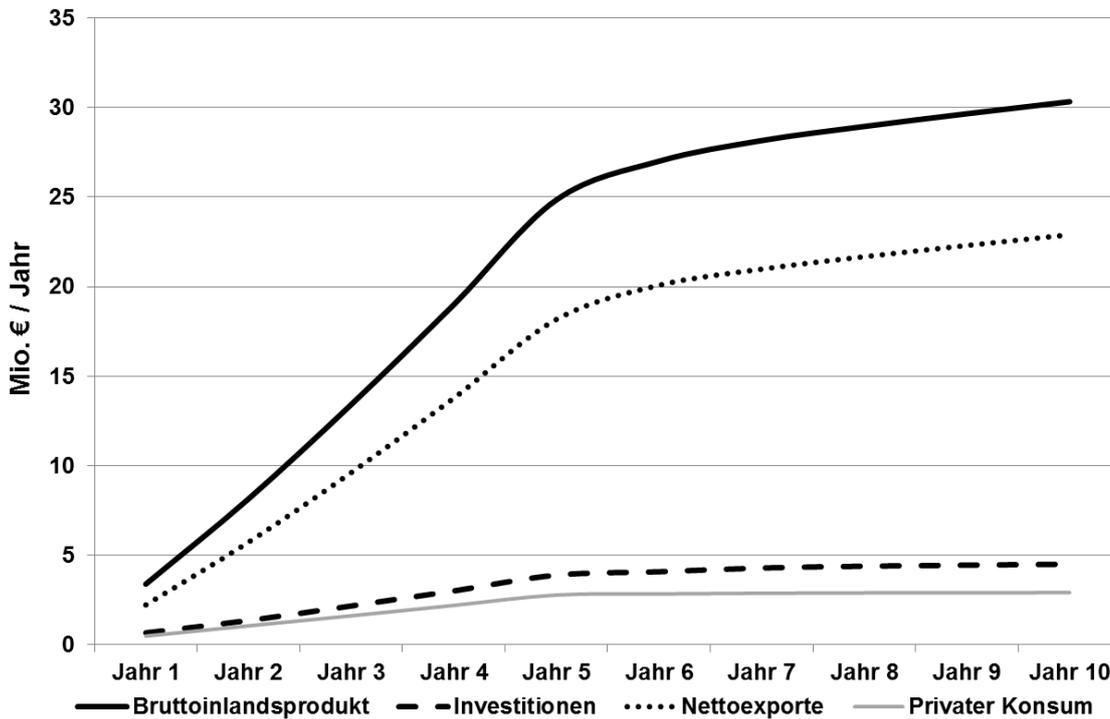
**Tabelle 4-9: Volkswirtschaftliche Effekte durch die Implementierung der Vernetzungssoftware in den österreichischen Kleinwasserkraftwerken, Simulationszeitraum: 10 Jahre. Quelle: Eigene Berechnungen anhand des Simulationsmodells MOVE2, Linz, April 2017.**

	Bruttoinlandsprodukt	Investitionen	Konsum	Nettoexporte	Beschäftigte
	Mio. €	Mio. €	Mio. €	Mio. €	Personen
Jahr 1	3,4	0,7	0,5	2,2	7
Jahr 2	8,1	1,4	1,1	5,7	18
Jahr 3	13,4	2,2	1,6	9,6	30
Jahr 4	19,0	3,0	2,2	13,8	41
Jahr 5	24,8	3,9	2,8	18,2	52
<b>Ø Jahr 1 – Jahr 5 Implementierung</b>	<b>13,8</b>	<b>2,2</b>	<b>1,6</b>	<b>9,9</b>	<b>30</b>
Jahr 6	27,0	4,1	2,8	20,1	55
Jahr 7	28,1	4,3	2,9	21,0	55
Jahr 8	28,9	4,4	2,9	21,7	55
Jahr 9	29,7	4,4	2,9	22,3	54
Jahr 10	30,3	4,5	2,9	22,9	54
<b>Ø Jahr 5 – Jahr 10 Betrieb</b>	<b>28,8</b>	<b>4,3</b>	<b>2,9</b>	<b>21,6</b>	<b>55</b>
<b>Ø Jahr 1 – Jahr 10</b>	<b>21,3</b>	<b>3,3</b>	<b>2,3</b>	<b>15,7</b>	<b>42</b>

Anmerkung: Gerundete Werte. Inklusive Mehrrundeneffekte. Konsum der privaten Haushalte = energetische + nicht-energetischer Konsum. Nettoexporte = (energetische + nicht-energetische) Exporte - (energetische + nicht-energetische) Importe. Bei den Beschäftigungseffekten handelt es sich um Nettoeffekte.

# Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

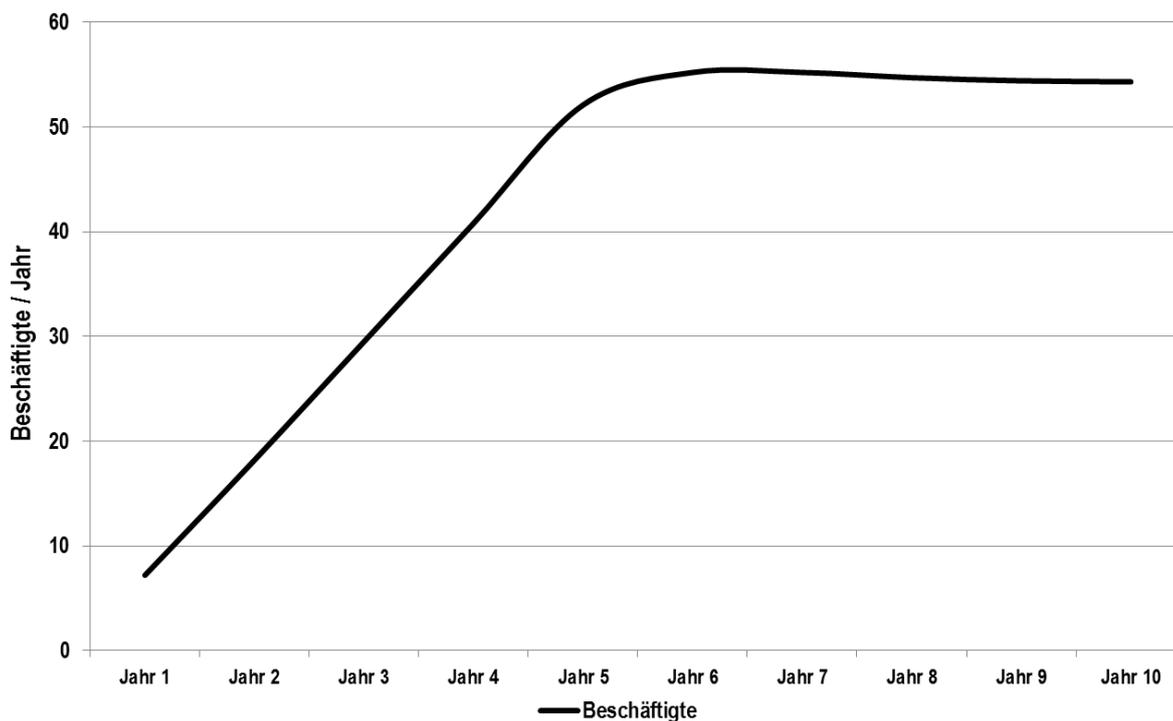


**Abbildung 4-11: Volkswirtschaftliche Effekte durch die Implementierung der Vernetzungssoftware in den österreichischen Kleinwasserkraftwerken, Simulationszeitraum: 10 Jahre. Quelle: Eigene Berechnungen anhand des Simulationsmodells MOVE2, Linz, April 2017.**

Anmerkung: Inklusive Mehrrundeneffekte. Konsum der privaten Haushalte = energetische + nicht-energetischer Konsum. Nettoexporte = (energetische + nicht-energetische) Exporte - (energetische + nicht-energetische) Importe. Bei den Beschäftigungseffekten handelt es sich um Nettoeffekte.

## Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG



**Abbildung 4-12: Beschäftigungseffekte durch die Implementierung der Vernetzungssoftware in den österreichischen Kleinwasserkraftwerken, Simulationszeitraum: 10 Jahre. Quelle: Eigene Berechnungen anhand des Simulationsmodells MOVE2, Linz, April 2017.**

*Anmerkung: Bei den Beschäftigungseffekten handelt es sich um Nettoeffekte.*

### 5 Ausblick und Empfehlungen

Das gegenständliche Projekt *Connect\_Hydro* setzt sich intensiv mit der Möglichkeit einer intelligenten Vernetzung von Kleinst- und Kleinwasserkraftanlagen (KWKWs) auseinander. Der Stand des Wissens bezüglich einer Vernetzung sowie die allgemeinen Problemstellungen von Kleinwasserkraftanlagen werden dabei klar und deutlich ersichtlich. Trotz des hohen Stellenwerts für die Versorgungssicherheit und Regionalwirtschaft sind gerade kleine Wasserkraftanlagen besonders stark von der Abwärtsentwicklung der Stromhandelspreise sowie der hohen Anforderungen durch die EU-Wasserrahmenrichtlinie betroffen. Ein Großteil der KWKW ist zudem mit veralteten Regeleinrichtungen ausgestattet, die meist als Insellösungen betrieben werden, auch weil an einem Fluss meist verschiedene Kraftwerksbetreiber tätig sind. Vor diesem Hintergrund ergibt sich ein erhebliches Potential für alternative Technologie- bzw. Verwertungskonzepte, wofür das gegenständliche Projekt eine essentielle Vorarbeit leistet.

Durch das Projekt wurde die Situation bzw. Problemlage von Kleinwasserkraftanlagen jedenfalls ersichtlicher und klarer, was v.a. auf die intensive Einbindung von Betreibern zurückzuführen ist. Auf Basis dessen konnten die Anforderungen einer Vernetzung definiert werden sowie Hard- und Software für die Datenaufzeichnung und –analyse entwickelt werden. Zudem wurde der Beweis erbracht, dass durch eine intelligente Vernetzung bzw. ein entsprechendes Informationssystem eine Optimierung der Energieproduktion und somit eine Steigerung des Stromoutputs erreicht werden kann. Eine Potentialabschätzung zeigt zudem erhebliche Potentiale für Vernetzungslösungen in Österreich sowie aus wirtschaftlicher Sicht geringe Gestehungskosten bei steigender Anzahl an umgesetzten Vernetzungslösungen.

Das Ziel, ein Umsetzungskonzept für die Vernetzung von KWKWs zu erstellen wurde erreicht. In diesem Kontext ergeben sich jedoch weitere Forschungsfragen bzw. Aufgabenstellungen die in zukünftigen anwendungsorientierten F&E-Aktivitäten in diesem Bereich zu bearbeiten sind. Vordergründig soll aufbauend auf das im Zuge des Projektes erarbeitete Umsetzungskonzept u.a. in einem nachfolgenden Implementierungsprojekt eine prototypische Umsetzung implementiert und getestet werden. Zudem gilt es noch weitere Aspekte des Umsetzungskonzepts zu betrachten, wie z.B. die Festlegung der Anforderungen Dritter. Auch wäre im Zuge der prototypischen Umsetzung eine weitere begleitende Forschung notwendig, um den Nutzen einer Vernetzung weiter spezifizieren und bewerten zu können.

## 6 Literaturverzeichnis

- [1] E-Control (2017): Aktueller Marktpreis gemäß § 41 Ökostromgesetz 2012 – EEX Grundlast Quartalsfuture (Phelix) für das 3. Quartal 2017, URL: <https://www.e-control.at/de/marktteilnehmer/oeko-energie/marktpreis> (accessed 10.6.2017).
- [2] Dumont, U., Keuneke, R. (2011): Vorbereitung und Begleitung der Erstellung des Erfahrungsberichtes 2011 gemäß § 65 EEG – im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit.
- [3] Tichler et al. (2015): Oö. Wasserkraftpotentialanalyse 2012/13 - Abschätzung und Evaluierung des energetischen Revitalisierungs- und Ausbaupotentials an umweltgerechten Standorten an mittleren und größeren Gewässern in Oberösterreich, im Auftrag vom Land Oö, URL: [http://www.land-oberoesterreich.gv.at/files/publikationen/AUWR\\_Wasserkraftpotentialanalyse.pdf](http://www.land-oberoesterreich.gv.at/files/publikationen/AUWR_Wasserkraftpotentialanalyse.pdf) (accessed 3.4.2017).
- [4] Thalhammer R. (2008): Intelligente Informationsvernetzung von Wasserkraftwerken, Elektrotechnik & Informationstechnik 125/9, Springer Verlag. pp. 323325. DOI 10.1007/s00502-008-0565-5 2008.
- [5] ÖNORM M 7140: Betriebswirtschaftliche Vergleichsrechnung für Energiesysteme nach der erweiterten Annuitätenmethode - Begriffsbestimmungen, Rechenverfahren.
- [6] VDI 6025: Betriebswirtschaftliche Berechnungen für Investitionsgüter und Anlagen.
- [7] Matz, S., Pohl, C., Jrgensen, G. (2009): Optimizing Power Generation at Hydropwer Stations. Dresdener Wasserbauliche Mitteilung Heft 39, Wasserbaukolloquium 2009, Wasserkraft im Zeichen des Klimawandels 2009.
- [8] Junginger, M., van Sark, W., Faaij, A. (2010): Technological learning In the Energy Sector – Lessons for Policy, Industry and Science, Edward Elgar Publishing.
- [9] Schoots, K., Ferioli, F., Kramer, G. J., van der Zwaan. B. C. C. (2008): Learning curves for hydrogen production technology: An assessment of observed cost reductions. International Journal of Hydrogen Energy Vol 33 / 11: 2630-2645, 2008.
- [10] Strategosinc (2017): Learning & Experience Curves in Manufacturing, Concepts & Continuous Improvement, URL: [http://www.strategosinc.com/articles/strategy/learning\\_curves.htm](http://www.strategosinc.com/articles/strategy/learning_curves.htm) (accessed 26.5.2017).
- [11] Tichler, R., Schwarz, M., Fazeni, K., Steinmüller, H. (2012): Auswirkungen des NGP auf die Energiewirtschaft in Oberösterreich - Analyse der Auswirkungen der bis 2015 in Umsetzung des NGP zu setzenden wasserwirtschaftlichen Maßnahmen und möglichen technischen Revitalisierungs- und Kompensationsmaßnahmen auf die Energiewirtschaft in Oberösterreich, im Auftrag vom Land Oö, URL: [http://www.land-oberoesterreich.gv.at/files/publikationen/auwr\\_auswirkung\\_NGP.pdf](http://www.land-oberoesterreich.gv.at/files/publikationen/auwr_auswirkung_NGP.pdf) (accessed 6.4.2017).
- [12] Baresch, M., Goers, S., Tichler, R., Schneider, F. (2014): MOVE2 - Modell zur Simulation der (ober)österreichischen Volkswirtschaft mit einem speziellen Schwerpunkt auf Energie - inkl. Zusatzmodul MOVE2social: Integration von Einkommen, Alter und Geschlecht. Energieinstitut an der Johannes Kepler Universität Linz.

# Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

## 7 Kontaktdaten

Antragsteller: Energieinstitut an der Johannes Kepler Universität Linz  
Kontakt: Robert Tichler  
Telefon: +43 732 2468 5656  
e-mail: tichler@energieinstitut-linz.at  
Adresse: Altenberger Strasse 69, 4040 Linz

Partner: nextsoft it GmbH  
Kontakt: Karl Platzer  
Telefon: +43 7615 31201  
e-mail: office@nextsoft.at  
Adresse: Grubbachstrasse 42, 4644 Scharnstein

Partner: Drack Elektrotechnik  
Kontakt: Bernhard Drack  
Telefon: +43 7616 8208  
e-mail: office@drackstrom.at  
Adresse: Redlmühle 5-6, 4645 Grünau

Partner: Verein Kleinwasserkraft Österreich  
Kontakt: Paul Ablinger  
Telefon: +43 1 522 0766  
e-mail: p.ablinger@kleinwasserkraft.at  
Adresse: Neubaugasse 7-9, 1070 Wien

Partner: Institut für Anwendungsorientierte Wissensverarbeitung, JKU Linz  
Kontakt: Josef Küng  
Telefon: +43 732 2468 4182  
e-mail: jkueng@faw.jku.at  
Adresse: Altenberger Strasse 69, 4040 Linz