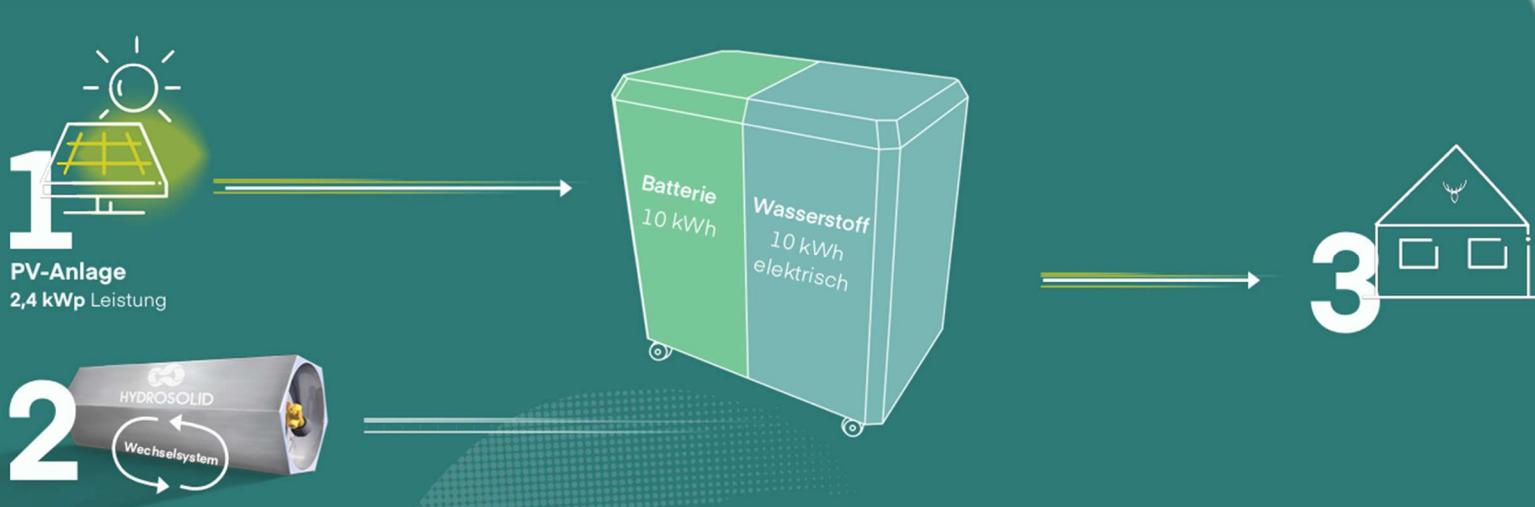


Wissenschaftlicher Endbericht

# Wasserstoff autark

Autarke Notstromversorgung auf Basis von grünem Wasserstoff in der kritischen Infrastruktur

Ein Projekt finanziert im Sicherheitsforschungs-Förderprogramm KIRAS des Bundesministeriums für Finanzen



**Projektnummer:** 913284

**Projektlaufzeit:** 2.9.2024 bis 30.9.2025

## Projektpartner:

Hydrosolid GmbH

Gold und Welser Projektentwicklung und Beteiligungs GmbH

Österreichische Bundesforste AG

### **Kurzzusammenfassung:**

Im Rahmen des Projektes „Wasserstoff autark“ wurde ein CO<sub>2</sub>-freies, autarkes Notstromsystem auf Basis von Niedrigdruck-Wasserstofftechnologie für die Versorgung kritischer Infrastruktur entwickelt und ein Prototyp in Betrieb genommen. Ziel ist die Kombination von Klimaschutz, Energiesicherheit und nachhaltiger Versorgung, insbesondere in der kritischen Infrastruktur und an abgelegenen Standorten wie alpinen Schutzhütten, welche nicht durch das öffentliche Stromnetz versorgt werden.

Kritische Infrastrukturen sind bei großflächigen Stromausfällen besonders gefährdet. Bisher erfolgt die Notstromversorgung meist durch fossile Energieträger – ineffizient und klimaschädlich. Das Projekt adressiert diese Schwachstellen durch eine innovative Lösung basierend auf Niedrigdruck Wasserstoffspeichern.

### **Technologie & Umsetzung:**

Mit Unterstützung des Sicherheitsforschungsprogramms KIRAS und der Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft (FFG) setzten die Österreichischen Bundesforste, das Wasserstoff-Technologieunternehmen HydroSolid GmbH und GoWell GmbH ein innovatives Energiesystem um, das speziell für die Versorgung kritischer Infrastruktur entwickelt wurde.

Im Rahmen des Projekts wurde die Luegberghütte in Waidhofen an der Ybbs mit einer Pilotanlage ausgestattet. Die Anlage kombiniert kurzfristige Batteriespeicherung mit den Vorteilen der langfristigen Wasserstoffspeicherung:

- Photovoltaik deckt den Energiebedarf an sonnigen Tagen.
- Bei höherem Verbrauch, schlechter Witterung oder nachts übernimmt der Wasserstoffgenerator.
- Die Brennstoffzelle greift auf die HYDROSOLID® HIVE Wasserstoffspeicher zurück und stellt eine zuverlässige, autarke und emissionsfreie Stromversorgung sicher.
- Entwicklung eines kompakten, mobilen Gesamtsystems für autarke Notstromversorgung.
- Nutzung von Niedrigdruck-Wasserstoffspeicherung für erhöhte Sicherheit und einfache Handhabung.
- Integration von Erfahrungen aus Pilotanlagen zur Optimierung von Effizienz und Zuverlässigkeit.

### **Nutzen & Wirkung:**

- CO<sub>2</sub>-frei und ressourcenschonend, Beitrag zu EU-Klimazielen.
- Stärkung der Versorgungssicherheit bei Blackouts und Entlastung des Stromnetzes.
- Demonstration der Praxistauglichkeit für dezentrale, kritische Infrastruktur.
- Skalierbare Lösung für weitere Anwendungen in abgelegenen Regionen.

**Fazit:**

Das Projekt dient als Vorzeigbeispiel für den Einsatz von Wasserstoffgeneratoren in der kritischen Infrastruktur. Es zeigt, dass Wasserstofftechnologie eine realistische und nachhaltige Alternative für Notstromversorgung darstellt. Es verbindet Klimaschutz mit hoher Versorgungssicherheit und ist ein wichtiger Schritt zur Dekarbonisierung.

**Projektpartner:**

HydroSolid GmbH (Technologische Entwicklung)

Gold und Welser Projektentwicklung und Beteiligungs GmbH (Projektmanagement)

Österreichische Bundesforste (Anwenderin für den Prototyp)

## Inhalt

1.	Einleitung .....	6
2.	Ziele .....	7
2.1.	Autarkes Wasserstoff- Energiesystem.....	7
2.2.	Lösungsansätze .....	8
2.3.	Innovationsgehalt .....	9
2.4.	Genderspezifische Ziele .....	10
3.	Forschungsdesign und Methoden .....	10
4.	Projektbeschreibung .....	11
4.1.	Projektmanagement .....	11
4.2.	Projektkonzeption & Produktmanagement.....	13
4.3.	Projektengineering 1 .....	14
4.4.	Projektengineering 2.....	15
4.5.	Sourcing.....	16
4.6.	Konstruktion Inhouse .....	16
4.7.	Montage & Installation.....	17
4.8.	Test und Abstimmungszyklen .....	18
4.9.	Entwicklung Service- & Tauschplan des Wasserstoffspeichers.....	19
4.10.	Genehmigung & Inbetriebnahme .....	20
4.11.	Überblick der Arbeitspakete im Projekt .....	20
5.	Ergebnisse.....	22
5.1.	Prototyp .....	22
5.2.	Zielerreichung.....	24
5.3.	Highlights im Projekt .....	26
5.4.	Herausforderungen & Lösungen .....	27
6.	Diskussion .....	27
6.1.	Einordnung in den Stand der Technik .....	28
6.2.	Erkenntnisse aus Entwicklung und Feldtest .....	28
6.3.	Wissenschaftliche Bewertung der Projektergebnisse .....	29
7.	Verwertung und Dissemination .....	30
8.	Fazit und Ausblick.....	31
	<b>Anhang .....</b>	33

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Vergleich HydroSolid Niederdruckspeicherung gegenüber Hochdruckspeicherung .....	9
Tabelle 2: Technische Spezifikationen Wasserstoff-Generator .....	14
Tabelle 3: Arbeitspakete im Projekt Wasserstoff autark .....	20
Tabelle 4: Meilensteine .....	22
Tabelle 5: Projektziele und Erreichung .....	25

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Prototyp des Wasserstoff-Generators.....	17
Abbildung 2: Übersicht Prototyp.....	23

## 1. Einleitung

### 1.1. Motivation

Jede Generation baut das Fundament für die nächste. Unsere Generation hat daher die Verpflichtung neue Wege zum erfolgreichen Stoppen des Klimawandels und zur Erhaltung unserer Natur und unseres Lebensraumes zu beschreiten, zeitgleich aber entsprechende Vorkehrungen zu treffen, die Energieversorgung zu gewährleisten. Die österreichischen Bundesforste (ÖBF), HydroSolid und GoWell fühlen sich verpflichtet ihre Kräfte zu bündeln, um ein innovatives, sicheres, autarkes und CO<sub>2</sub> freies Energieversorgungssystem zu entwickeln und in einem Prototyp zu realisieren.

### 1.2. Ausgangslage

Im Rahmen dieses Projektes wurde ein Prototyp einer "autarken Notstromversorgung auf Basis der von HydroSolid entwickelten Niedrigdruckwasserstofftechnologie" hergestellt und als Pilotanlage in Betrieb genommen. Damit leisten wir einerseits einen Beitrag zur Erreichung der EU-Klimaziele und nehmen damit unsere Verantwortung gegenüber der uns folgenden Generation aktiv wahr. Andererseits kann damit die dezentrale Energieversorgung kritischer Infrastruktur auf CO<sub>2</sub> freie Alternativen umgestellt werden und so die Energiesicherheit für die Bevölkerung deutlich erhöht werden.

Viele Bürgerinnen und Bürger fürchten aktuell einen großflächigen andauernden Stromausfall, welcher auch zu Unruhen in der Bevölkerung führen kann. Ein solcher Stromausfall kann durch autarke Systeme abgedeckt und so die kritische Infrastruktur aufrechterhalten werden.

Die meisten alpinen Schutzhütten, Almwirtschaften und viele Jagdhütten wurden in einer Zeit erbaut, in der es noch keine emissionsfreien Technologien zur Energieproduktion gab. Die derzeitige Energieversorgung von nicht mittels öffentlicher Infrastruktur erreichbarer Liegenschaften ist häufig ineffizient, CO<sub>2</sub>-intensiv und kostspielig. Häufig werden für die Energieproduktion fossile Energieträger genutzt, wie beispielsweise Gasgeneratoren oder Dieselaggregate. Solche Objekte sind daher ähnlichen Rahmenbedingungen ausgesetzt wie Objekte der kritischen Infrastruktur. Die Hütten der österreichischen Bundesforste stellen eine ideale Entwicklungs- und Testumgebung für den im Rahmen dieses Projektes zu entwickelnden Prototypen dar. Der Wasserstoffgenerator stellt ganzjährig emissionsfreie elektrische Energie zur Verfügung.

HydroSolid hat bereits eine Wasserstoff-Pilotanlage zur Versorgung einer Schutzhütte errichtet. Die dabei gewonnenen Erkenntnisse dienten als wesentliche Grundlage für den gegenständlichen Anwendungsfall, da hierbei das bereits umgesetzte Pilotkonzept in deutlich kompakterer und besserer Form umgesetzt werden konnte. Im Unterschied zu den bisherigen Pilotprojekten von HydroSolid wird in diesem Projekt erstmals die patentierte Niederdruckspeichertechnologie genutzt. Weiters wird der Wasserstoffgenerator erstmalig in einer mobilen Ausführung umgesetzt.

### 1.3. **Angestrebte Ergebnisse**

Motiviert durch den intrinsischen Wunsch einen Beitrag für die Gesellschaft und für zukünftige Generationen zu leisten, ist es Ziel von HydroSolid und GoWell ein neues, autarkes, sicheres und kompaktes CO<sub>2</sub> freies Energiesystem weiterzuentwickeln und zu realisieren, welches auf Basis einer Niederdruck-Wasserstoff-Speichertechnologie funktioniert. Dies soll anhand einer Referenzanlage bei einem Objekt der ÖBF erfolgen, mit der Absicht das entwickelte Energiesystem zukünftig großflächig für die Versorgung von einzelnen Punkten der kritischen österreichischen Infrastruktur einsetzen zu können. Damit soll gezeigt werden, dass Klimaschutz und zuverlässige, als auch saubere ganzjährige Energieversorgung, Hand in Hand gehen können.

## 2. Ziele

Ziel ist es einen Prototyp für eine autarke (Not)stromversorgung auf Basis der Hydrosolid Niedrigdruckwasserstofftechnologie zu entwickeln, um in weiterer Folge ein Gesamtsystem zur sicheren autarken und CO<sub>2</sub> freien Energieversorgung von Objekten ohne Anbindung an das öffentliche Stromversorgungsnetz zu gewährleisten.

### 2.1. Autarkes Wasserstoff- Energiesystem

Unter autarkes Wasserstoff- Energiesystem verstehen die Projektpartner zum einen die einzelnen notwendigen technischen Komponenten auszuwählen und optimal für den Einsatzzweck abzustimmen. Dies erfordert eine besonders kompakte und robuste Bauweise bei maximaler Leistungsfähigkeit. Zum anderen geht es auch darum ein Gesamtsystem im Sinne eines Plug & Play Ansatzes mit möglichst niederschwelligen Installationshürden, als auch im Hinblick auf die logistische Abwicklung des laufenden Betriebes oder etwaiger Wartungen zu entwickeln. So ist der Anspruch, dass das System mit handelsüblichen PKWs transportfähig ist und die enthaltenen Speicher sehr einfach befüllbar sind. Das System soll robust ausgelegt sein und der Wartungsbedarf minimiert werden.

## 2.2. Lösungsansätze

Als Herzstück des Energieversorgungssystem fungiert ein, im Rahmen dieses Projektes entwickelter, Wasserstoffgenerator, der mit grünem Wasserstoff betrieben wird und somit im Betrieb keinen CO<sub>2</sub> Ausstoß verursacht. Die Auslegung soll dabei einer Kleinststromversorgung (rd. 2,5 KW im Dauerbetrieb) entsprechen und vor allem als Ersatz für z.B. Dieselaggregate dienen. Dieser Leistungsbereich wurde in Abstimmung des Projektkonsortiums gewählt, da damit auf Hütten jedenfalls eine Beleuchtung und mehrere Geräte wie z.B. ein Kühlschrank, Tiefkühltruhe, oder eine Kochplatte betrieben werden können.

Der Wasserstoffgenerator kombiniert Brennstoffzelle, PV-Module, Batteriespeicher und einen Wasserstoff-Niederdrucktank zu einem vollständig integrierten Energiesystem. Im Normalbetrieb wird die Batterie durch die Photovoltaikanlage geladen. Wird elektrische Energie benötigt, wird diese vorrangig aus der PV-Anlage bzw. aus der Batterie bereitgestellt. Die integrierte Brennstoffzelle übernimmt automatisch die Versorgung, sobald die Photovoltaik zu wenig Energie liefert, oder der Ladezustand der Batterie zu niedrig ist. Dadurch wird eine kontinuierliche und unterbrechungsfreie Stromversorgung gewährleistet, auch bei Schlechtwetter, in der Nacht, oder im Winter. Ein wesentlicher Vorteil des Wasserstoff-Wechseltanks besteht in der deutlich geringeren Systemkomplexität, da keine Elektrolyse im Gerät selbst integriert werden muss. Für Organisationen wie die Österreichische Bundesforste (ÖBf) ist dies besonders attraktiv, da der Wasserstoff zentral produziert und anschließend in Wechseltanks abgefüllt werden kann, die dann bedarfsgerecht zu den jeweiligen Betriebsstandorten transportiert werden. Dies erhöht die Versorgungssicherheit und reduziert Wartungsaufwand und Investitionskosten vor Ort erheblich.

Basis für die Wasserstoff-Wechseltanks ist das von Hydrosolid GmbH patentierte Speichermaterial. State-of-the-art Speichertechnologien basieren auf Hochdruckspeichersystemen, welche diverse Nachteile mit sich bringen. So muss der Wasserstoff in den Hochdruckspeichern erheblich verdichtet werden, was erhebliche Verluste und hohe Kosten für Verdichter mit sich bringt. Im Verbrauchsvorgang wird der Druck vermindert, damit die Brennstoffzelle betrieben werden kann. Der hohe Druck in der Wasserstoffspeicherung bringt entsprechende Risikopotenziale mit sich bzw. erfordert beim Transport, der Lagerung und dem Betrieb erhöhte Sicherheitsvorkehrungen. Die patentierte Speichertechnologie von HydroSolid nutzt ein innovatives Feststoff-Speichermaterial, das Wasserstoff bei nur 35 bar adsorbiert. Damit unterscheidet sich die Technologie grundlegend von herkömmlichen gasförmigen Hochdruckspeichern mit typischen Betriebsdrücken von 200 bar oder mehr.

## 2.3. Innovationsgehalt

Es ist festzuhalten, dass autarke grüne Energieversorgung für kritische Infrastruktur, beziehungsweise für Objekte die keine Möglichkeit zum Anschluss an die öffentliche Stromnetzversorgung haben, gemäß unserer Recherche am Markt nicht verfügbar ist. Etwaige bestehende Anbieter, vorwiegend aus den Bereichen der Bau- und Energiewirtschaft sowie der Elektrotechnik, bieten ihre Produkte und Services meist nur in Bezug auf ihre jeweilige Kernkompetenz an. State-of-the-Art ist hier die klassische Photovoltaikanlage mit Batteriespeichern. Unter diesem Gesichtspunkt hat die Entwicklung eines Wasserstoff-Generators mit innovativen Wechseltanksystem einen stark innovativen Charakter. Die optimale Auslegung auf die Anforderungen der kritischen Infrastruktur und Betrachtung der logistischen Lösungsansätze bei der Installation und dem laufenden Betrieb erweitern den Innovationsgehalt. Die Herausforderung besteht darin die notwendige kompakte Größe (Platzbedarf) bei gleichzeitiger ausreichender Leistungsfähigkeit zu erreichen und die verschiedenen Systemkomponenten bei den jeweils sehr rauen Umgebungsbedingungen optimal aufeinander abzustimmen und für die notwendige Robustheit zu sorgen.

Die Einbeziehung der Niedrigdruckwasserstoffspeichersysteme von HydroSolid ist einerseits notwendig um die Anforderungen an die Kompaktheit, Einfachheit und Sicherheit des Systems zu gewährleisten und stellt andererseits für sich einen enormen Innovationssprung dar. Auf Basis der HydroSolid Technologie wird es möglich sein, Wasserstoff bei deutlich reduziertem Druck, aber größerer Energiedichte als State-of-the Art Hochdruckspeicher, zu speichern. Dies erfolgt außerdem bei deutlich reduzierten Verlusten bzw. Energiebedarfen und ohne die Verwendung von gefährlichen, toxischen Rohmaterialien, oder seltenen Erden in der Speicherfertigung. Nachfolgende Tabelle stellt einen Vergleich der neuartigen Niederdruckspeicherung gegenüber der konventionellen Hochdruckspeicherung bei 200 bar dar:

*Tabelle 1: Vergleich HydroSolid Niederdruckspeicherung gegenüber Hochdruckspeicherung*

	HydroSolid 35 bar	200 bar Speicher
<b>Druckniveau</b>	35 bar	200 bar
<b>Sicherheit</b>	sehr hoch	mittel (komprimiertes Gas)
<b>Kompressionsbedarf</b>	sehr gering	hoch
<b>Komplexität</b>	niedrig	hoch
<b>Wartung</b>	minimal	hoch
<b>Verluste</b>	< 1 %	höher
<b>Lebensdauer</b>	20 Jahre	geringer
<b>CAPEX/OPEX</b>	niedrig	hoch
<b>Energiedichte</b>	1,3 kWh/L	0,4 kWh/L
<b>Ideal für</b>	stationäre Systeme, Off-Grid, Hybrid- und Notstrom	Industrie mit Hochdruckbedarf

Der Mehrwert des Wasserstoff- Generators besteht vor allem darin, autarke Notstromversorgung auf Basis grüner Technologien sicherzustellen, ohne weiterhin von fossilen Energieträgern abhängig zu sein. In allen Belangen (Installation, laufender Betrieb, Wartung, etc.) soll ein möglichst bedienerfreundliches Aggregat mit der Möglichkeit zur Einbindung in ein Gesamtsystem entwickelt werden, welches bei erfolgreicher Umsetzung unmittelbar der kritischen Infrastruktur zur Verfügung steht und damit dazu beiträgt unabhängig von etwaigen geopolitischen Entwicklungen zu sein. Außerdem unterstützt es wesentlich die EU-Wasserstoffstrategie, um die Ziele des EU Green Deals zu erreichen. Zum einen, weil Wasserstoff eine wesentliche Säule der EU-Strategie ist und zum anderen, weil nur funktionierende, sichere und benutzerfreundliche Anwendungen in der Gesellschaft Akzeptanz finden werden. Das gegenständliche Projekt leistet damit auch einen wesentlichen Beitrag dazu, die Energieversorgung der Zukunft der Gesellschaft näher zu bringen und vor allem einer breiten Masse zugänglich zu machen.

## 2.4. Genderspezifische Ziele

Ziel des Projektes ist es, wie oben beschrieben, ein Gesamtsystem zur sicheren, autarken und CO<sub>2</sub> freien Energieversorgung von Objekten ohne öffentliche Stromversorgung, oder kritischer Infrastruktur zu entwickeln. Hierbei handelt es sich um ein übergeordnetes Ziel, Menschen allen Geschlechts, Hautfarbe und Herkunft Energiesicherheit im Rahmen der Projektmöglichkeiten zur Verfügung zu stellen. Das aufgestellte Team ist in Herkunft, Profession und Geschlecht divers aufgestellt.

## 3. Forschungsdesign und Methoden

Im Zentrum der Forschung steht vor allem die Fragestellung welche Einzelkomponenten einzusetzen sind und wie diese optimal aufeinander abgestimmt werden müssen, um einen Prototyp für einen Wasserstoffgenerator zu entwickeln, welcher den Anforderungen von kritischer Infrastruktur entspricht. Die Erprobung und laufende Adaptierung der Systemkomponenten bzw. der Kommunikation zwischen den Komponenten unter realen Umweltbedingungen liegt damit im Mittelpunkt der Forschung. Die Entwicklungsforschung wird daher dem Konzept des Versuchs und Irrtums folgend, mit unterschiedlichen Varianten experimentieren und diese dokumentieren. Die Zusammenarbeit mit dem Bedarfsträger ÖBF, der stellvertretend für die kritische Infrastruktur, ein Versuchsobjekt zur Verfügung stellt, ist daher unerlässlich.

## 4. Projektbeschreibung

Die Arbeitspakete werden nachfolgend skizziert und in Tabelle 2 zusammengefasst dargestellt.

### 4.1. Projektmanagement

Die österreichischen Bundesforste (ÖBF), HydroSolid und GoWell verfolgen im KIRAS Projekt gemeinsam das Ziel, ein innovatives, sicheres und CO<sub>2</sub>-freies Energiesystem voranzubringen. Im Rahmen des Projekts sollte ein von HydroSolid entwickelter Prototyp für eine autarke Notstromversorgung auf Basis der Niederdruck-Wasserstoffspeichertechnologie realisiert werden. Dieses System, welches nun auf der Luegberghütte in Waidhofen an der Ybbs installiert wurde, zielt darauf ab, die dezentrale Versorgung kritischer Infrastruktur CO<sub>2</sub>-frei zu gestalten, die Energiesicherheit zu erhöhen und einen Beitrag zur Erreichung der EU-Klimaziele zu leisten. Um dieses ambitionierte Ziel umzusetzen, wurde ein professionelles Projektmanagement, durch die Gold und Welser Projektentwicklung und Beteiligungs GmbH etabliert und umgesetzt:

Das Arbeitspaket „Projektmanagement“ umfasste die ganzheitliche Planung, Steuerung und Kontrolle des Projekts sowie die Sicherstellung eines reibungslosen Ablaufs in organisatorischer, inhaltlicher und administrativer Hinsicht. Dabei wurde besonderes Augenmerk auf die Einhaltung der Projektziele, die transparente Kommunikation mit allen relevanten Stakeholdern sowie die Abwicklung sämtlicher Aufgaben im Rahmen des KIRAS-Förderprojekts Wasserstoff autark gelegt. Aufgrund von Verzögerungen in der Projektplanung musste der Projektstart auf den 2.9.2024 verschoben werden.

#### Vorgangsweise und Methoden

Zu Beginn erfolgte die Erstellung einer detaillierten Projektstruktur, welche die Abgrenzung der Projektziele und Nicht-Ziele ebenso beinhaltete wie die Definition klarer Verantwortlichkeiten innerhalb des Projektteams. Auf dieser Basis wurde ein strukturiertes Task-Monitoring eingeführt, das durch die 14-tägige Dokumentation in Falcana (P00011) unterstützt wurde. Hierdurch konnten Fortschritte kontinuierlich erfasst, Abweichungen frühzeitig identifiziert und notwendige Maßnahmen eingeleitet werden. Auch die Budgeteinhaltung wurde in diesem Rahmen kontrolliert.

Wichtig bei den Projektzielen war es hier im Rahmen des eher geringen Budgets genau abzugrenzen, was als Projektergebnis zur Verfügung stehen soll. Das Wasserstoffaggregat wurde wie geplant umgesetzt (siehe Projektziele).

Das Projektmanagement umfasste sowohl die operative Steuerung (laufende Abstimmung mit ÖBF, Hydrosolid und GoWell) als auch die methodische Anwendung von Input-/Output-Monitoring zur Überprüfung der Zielerreichung.

#### Führung und Koordination

Die Leitung des Projektteams beinhaltete die kontinuierliche Kommunikation mit allen Partnern, die Moderation von Abstimmungsrunden sowie die Sicherstellung einer effizienten Aufgabenverteilung. Wichtige Meilensteine wurden im Vorfeld definiert und in Form von Projektplänen überwacht. So konnte gewährleistet werden, dass Termine (z.B. Begehung des Musterobjekts am 24.06.2025 oder Montage der Anlage am 08.08.2025) sowie Kostenrahmen eingehalten wurden. Die Projektpräsentation fand am 8.9.2025 direkt vor Ort bei der Pilotanlage der Luegberghütte am Schnabelberg in Waidhofen/Ybbs statt.

#### Dokumentation und Berichterstattung

Ein wesentlicher Bestandteil war die Koordination der Erstellung und Einreichung sämtlicher Projektdokumentationen bzw. Zwischenabrechnungen der Konsortialpartner gegenüber der Förderstelle.

#### Stakeholderabstimmungen und Kooperationen

Ein zentraler Projektschritt war die Auswahl des Musterobjektes in enger Abstimmung mit ÖBF und HydroSolid, die zur Festlegung der Luegberghütte in Waidhofen führte. Die anschließende gemeinsame Begehung am 24.06.2025 diente der technischen und organisatorischen Finalisierung. Parallel dazu wurde die Kooperationsvereinbarung zwischen ÖBF, Hydrosolid und GoWell vorbereitet, welche den mindestens zweijährigen Probetrieb rechtlich und organisatorisch absichern soll und am selben Tag unterzeichnet werden konnte.

#### Risikomanagement und Lösungsansätze

Zu den zentralen Risiken zählten Verzögerungen bei Terminabstimmungen, technische Unwägbarkeiten während der Montagephase sowie mögliche divergierende Zielvorstellungen der Partner. Diese Risiken wurden durch klare Kommunikationswege, ein engmaschiges Monitoring der Projektfortschritte und die frühzeitige Einbindung aller Partner minimiert. Als Lösungsansätze wurden regelmäßige Fortschrittsmeetings etabliert.

#### Ergebnisse und Ausblick

Mit der erfolgreichen Montage der Anlage an der Luegberghütte am 08.08.2025 wurde ein wesentlicher Projekterfolg erzielt. Zudem konnte im Rahmen des Projektmanagements ein Business Case für potenzielle weitere Kooperationen zwischen Hydrosolid und GoWell erarbeitet werden. Dadurch wurde nicht nur die unmittelbare Projektumsetzung gesichert, sondern auch die Grundlage für nachhaltige Folgeprojekte gelegt.

Das Arbeitspaket „Projektmanagement“ stellte damit die organisatorische Klammer des Gesamtprojektes dar und war entscheidend für die fristgerechte, effiziente und transparente Umsetzung der Projektziele.

## 4.2. Projektkonzeption & Produktmanagement

### Vorgehensweise und Methoden

Die Arbeitsschritte des Arbeitspakets wurden im Wesentlichen gemäß Plan erarbeitet (Anforderungserhebung, Pflichtenheft, Architektur, Sicherheits-/Betriebskonzepte, Produktunterlagen).

Die Durchführung einer Bedarfserhebung stand am Beginn der Projektkonzeption. Direkt vor Ort am Pilotstandort wurden Einsatzszenarien, Betriebsprofile, Sicherheits- und Genehmigungsanforderungen sowie Umgebungsbedingungen abgestimmt. Weiters wurden ein Lasten- und Pflichtenheft inkl. Funktions-, Sicherheits-, Qualitäts- und Abnahmekriterien (FAT/SAT) erstellt. Hinsichtlich der Systemarchitektur wurde an einem modularen, skalierbaren System (Speicher, Brennstoffzelle, PV, Batterie) mit klaren Schnittstellen gearbeitet. Der HydroSolid-Niederdruckspeicher (35 bar) fungiert als zentrales Element zur Erhöhung von Sicherheit und Handhabbarkeit. Die Betriebsstrategie lautet: „PV-first“, sprich priorisierte Nutzung der PV-Energie; die PEM-Brennstoffzelle wird bedarfsgeführt zugeschaltet und die Batterie dient als Puffer.

Dafür wurde ein Grob- und Detailkonzept des Wasserstoff-Stromaggregats mit modularem Speicherschrank, integrierter PV-Anlage und Batteriespeicher erstellt. Zudem ein Schnittstellen- und Sicherheitskonzept (Belüftung, Gasdetektion, Not-Aus, Zündquellenmanagement, Druckstufen, Labels). Zum Zwecke der Validierung wurde eine laufende Soll/Ist-Prüfung in der Engineering-Phase vorgesehen, ebenso wie ein Abschlussabgleich vor Inbetriebnahme.

### Risikomanagement und Lösungsansätze

Großer Wert wurde auf die kompakte Bauweise von Speicher sowie aufs Temperaturmanagement gelegt, um optimalen Servicezugang und Wärmemanagement gewährleisten zu können. Dafür umgesetzt wurden 3D-Layout-Iterationen, modulare Racks, definierte Serviceklappen, optimierte Luftführung und Setpoint-Feintuning. Um die Verfügbarkeit von Schlüsselkomponenten sicherzustellen, wurde frühzeitig disponiert.

Der Fokus lag auf der strikten Modularisierung, also klare Schnittstellen und schrittweises Testen (FAT/SAT). Diese modulare Konzeption ist ein Schlüsselerfolgskriterium! Kapazität und Leistung sind somit skalierbar, der Niederdruck-Wasserstoffspeicher erhöht zudem die

Sicherheit und Bedienbarkeit. Das Gerät adressiert autarke Standorte ohne Netzanschluss und ersetzt Benzin-/Diesel-Aggregate durch eine CO<sub>2</sub>-freie Lösung mit geringem Lärm- und Emissionsprofil.

## 4.3. Projektengineering 1

### Vorgangsweise und Methoden

Im Arbeitspaket „Projektengineering 1“ wurden die elektrischen und funktionalen Anforderungen aus Lasten-/Pflichtenheft abgeleitet, in ein konsistentes Systemdesign überführt und mit den Konsortialpartnern technisch abgeglichen. Auf dieser Basis erfolgte die Dimensionierung und die Auswahl der Hauptkomponenten: eine 10 kWh-Lithiumbatterie (48V) mit lokalem SOC-Display, eine bedarfsgeführt zuschaltbare PEM-Brennstoffzelle mit rund 1 kW(el), ein Wechselrichter mit bis zu 3 kW AC-Abgabeleistung und vier Gerätesteckdosen, eine PV-Generatorleistung von 2,4 kWp (4 Module zu je 600W) inklusive transport- und montagefreundlichem Gestell sowie ein Niederdruck-Wasserstoffspeicher mit einer Speicherkapazität von 700g Wasserstoff.

Die Kommunikationsseite wurde robust für die lokale Anzeige und Bedienung ausgelegt. Parallel dazu wurden Schaltpläne, Klemmen-/Kabellisten, Stücklisten sowie das elektrotechnische Sicherheits- und Schutzkonzept erstellt. Außerdem wurden Überspannungsschutz auf der PV-DC-Seite, Not-Aus Schalter, Erdung/Potentialausgleich definiert.

Nachfolgende Tabelle 2 fasst die technischen Spezifikationen des Wasserstoff-Generator-Prototyps zusammen:

*Tabelle 2: Technische Spezifikationen Wasserstoff-Generator*

Wasserstoff-Generator			
<b>Output Spannung:</b>	220-230V AC	<b>Output Leistung:</b>	≤2.500W
<b>Speicherkapazität:</b>	≤21.2kwh	<b>Gewicht:</b>	225kg
<b>Abmessung (L*W*H) :</b>	900×600×950 mm	<b>Betriebstemperatur:</b>	-10~50°C
Brennstoffzelle			
<b>Leistung:</b>	1.000W	<b>Output Spannung:</b>	48V DC
<b>Wasserstoff-Qualität:</b>	≥99.99%	<b>Wasserstoff Flow Rate:</b>	≤35 NL/min
<b>Effizienz / Wirkungsgrad:</b>	≥55%	<b>Startup Zeit:</b>	≤20s
<b>Sicherheit:</b>	Unterspannungsschutz, Leistungsschutz, Temperaturüberwachung, Drucküberwachung		

PV Module			
Anzahl PV Panele:	4	Individual Panel Leistung:	600w
Photovoltaik Wirkungsgrad:			≥20%
Batterie			
Spannung:	48V	Kapazität:	230Ah
Abmessung:	480×380×280 mm	Gewicht:	75kg
Kommunikation :	RS485	Sicherheit:	Überladungsschutz
HydroSolid Hive Mini			
Wasserstoffkapazität:	700g	Fülldruck:	≤3.5 MPa
Ausgangsdruck:	0.6±0.1 MPa	Flow Rate:	≥42 NL/min
Gewicht:	54kg	Temperatur:	-20~70°C

### Risikomanagement und Lösungsansätze

Zentrale Risiken wurden identifiziert und mit konkreten Maßnahmen hinterlegt: Für die kompakte Integration und thermische Lasten, insbesondere für den Sommerbetrieb wurde die Luftführung optimiert. Risiken aus dem Zusammenspiel von Batteriemanagementsystem (BMS), Brennstoffzelle und Inverter wurden durch klare Leitungsführung, Schirmung und sauberes Massekonzept adressiert. Bau- und Schaltpläne wurden in diesem Arbeitspaket finalisiert.

## 4.4. Projektengineering 2

### Vorgangsweise und Methoden

Im Rahmen der Spezifizierung von Betriebs- und Logistikkonzept für den Wasserstoffgenerator wurde ein durchgängig tauschbasiertes Speicherkonzept ausgearbeitet. Die Wasserstoffspeichermodule werden, analog zu Grillgas-Flaschen, als Voll-/Leergebinde im Pfand- bzw. Austauschsystem geführt. Kern des Konzepts ist ein sicherer Schnellverschluss an der H<sub>2</sub>-Schnittstelle, der das Ankuppeln und Abkoppeln wesentlich vereinfacht und damit Standzeiten minimiert. Der Tausch erfolgt nach kurzer Betriebsunterbrechung. Folgende Vorgehensweise wurde festgelegt: Brennstoffzelle stoppen, die beiden manuellen Speicher-Ventile schließen, per Schnellkupplung trennen, Modul entnehmen, vollen Speicher einsetzen, Kupplung verriegeln, Ventile öffnen, Dichtheit prüfen, Betrieb fortsetzen. Die Speichermodule sind einfach transportierbar. Logistisch ist ein Leergut-/Vollgut-Kreislauf mit definierten Reaktionszeiten vorgesehen: Abholung der Leerbehälter, Wiederbefüllung bis 35 bar (Niederdruck) außerhalb des Einsatzortes und Rücklieferung der vollen Speicher.

### Risikomanagement und Lösungsansätze

Die Rollen sind im Projekt klar zugeordnet. Der Betreiber ÖBF führt den Speichertausch nach Einweisung durch, der Servicepartner verantwortet die Wiederbefüllung. Insgesamt reduziert die modulare, steckbare Speicherlogistik Installations- und Wartungsaufwände, erhöht die Verfügbarkeit im Feld und ermöglicht einen skalierbaren Betrieb ohne Vor-Ort-Verdichtung oder komplexer Betankungsinfrastruktur, was wiederum Sicherheitsrisiken minimiert.

## 4.5. Sourcing

### Vorgangsweise und Methoden

Im Arbeitspaket „Sourcing der Systemkomponenten“ wurden die Zukaufteile auf Basis der Stückliste disponiert und beschafft. Das Transportkonzept zur ÖBF-Luegberghütte wurde erstellt. Da die Hütte per PKW erreichbar ist, ergaben sich für dieses Projekt keine besonderen Last-Mile-Restriktionen und das Material konnte ohne Sondertransporte an den Einsatzort gebracht werden. Der Wareneingang bestellter Bauteile umfasste Sicht- und Funktionsprüfungen gemäß Checkliste (Beschädigungen, Vollständigkeit, Begleitdokumente).

### Risikomanagement und Lösungsansätze

Im Risikomanagement wurde besonders auf Lieferterminschwankungen und mögliche Beschädigungen auf dem Transportweg geachtet. Als Lösungsansätze wurden kritische Komponenten möglichst frühzeitig disponiert.

Die Arbeitsschritte und -pakete im Sourcing konnten ohne wesentliche Abweichungen plangemäß umgesetzt werden. Einzelne Liefertermine konnten durch frühzeitiges Reagieren und der Disposition von Alternativartikel eingehalten werden. Mit Abschluss dieses Arbeitspaketes waren sämtliche für den Bau des Wasserstoff-Generators benötigten Bauteile vorhanden.

## 4.6. Konstruktion Inhouse

### Vorgangsweise und Methoden

Detaillierte Pläne für die Fertigung der benötigten Bauteile, beispielsweise für den Lüftungsstrang und verschiedene Halterungen, wurden ausgearbeitet und gefertigt. Parallel dazu lagen die elektrischen Schaltpläne vor. Darauf aufbauend wurden sowohl die detaillierte Funktionsbeschreibung als auch die Steuerungs- und Regelungslogik entwickelt. Sämtliche Bauteile wurden gemäß der Planung zusammengefügt, die gesamte

Verkabelung wurde durchgeführt und das System anschließend entsprechend der vorgesehenen Funktionalitäten vollständig programmiert und in Betrieb genommen.

Nachfolgendes Bild zeigt den in Herzogenburg aufgebauten Prototyp des Wasserstoff-Generators.



Abbildung 1: Prototyp des Wasserstoff-Generators

### Risikomanagement und Lösungsansätze

Kern dieses Arbeitspaket war der Aufbau des Prototyps (mechanische Integration, Verkabelung, Inbetriebnahme) und die Programmierung des Systems, inkl. Abläufe (Start/Stop-Sequenzen, Status/Alarne) und Sicherheitslogik (Not-Aus, Grenzwerte, H<sub>2</sub>-Überwachung).

Punktuelle Konstruktionsänderungen (Halter/Leitungsführung) ergaben sich aus der Passprobe und wurden ohne Einfluss auf Termine oder Ziele umgesetzt. Der FAT wurde am Betriebsstandort von HydroSolid in Herzogenburg durchgeführt. Die hierfür erstellten Unterlagen bilden die Basis für die vor Ort Montage, Tests und den Betrieb.

## 4.7. Montage & Installation

### Vorgangsweise und Methoden

Nach erfolgreicher Fertigung und In-house Testläufen (Grundfunktionalität, I/O-Check, Dichtheit, elektrische Prüfungen) sowie abgeschlossenem FAT wurde die Anlage bestehend aus Generator, PV-Unterkonstruktion und PV-Modulen mit einem Kleinbus zur ÖBF-Hütte transportiert. Vor Ort erfolgten die Montage und die Inbetriebnahme. Die eigentliche Vor-Ort-Montage war in wenigen Stunden abgeschlossen und bestätigt damit

den Plug-&-Play-Ansatz des Konzepts. Die schnelle Montagezeit und reibungslose Inbetriebnahme belegen die Praxisreife und Montagefreundlichkeit des Systems. ÖBF sehen den Plug and Play Ansatz als sehr positiv, da damit die Möglichkeit besteht, das System einfach von einer Hütte zu entfernen. Dies würde beispielsweise zum Tragen kommen, wenn ein Pächter aus einer Hütte auszieht und das System auf einer anderen Hütte weiterverwendet werden soll.

Konkret wurden dabei folgende Arbeitsschritte umgesetzt:

- Standort vorbereiten: Zugang/Standfläche geprüft, Kennzeichnungen angebracht (H<sub>2</sub>-Warnhinweise, Not-Aus, Fluchtwiege) sowie allgemeine Checks.
- Mechanik & PV: Aufstellen des Generators, Montage der PV-Unterkonstruktion und der 2,4 kWp-Module, DC-Verkabelung, Erdung und Beschriftung.
- Anschluss des Wasserstoffspeichers inkl. Dichtheitsprüfung, Ventilfunktion und Belüftungskontrolle.

#### Risikomanagement und Lösungsansätze

Folgende Risiken wurden vorab identifiziert, um diesen entsprechend vorbeugen zu können:

- Transport/Handling: Risiko von Transportschäden und Kipgefahr → stoßsichere Verpackung, Hebevorrichtungen, 2-Personen-Handhabung.
- Witterung/Standort: Wetter-/Zugangsrisiken → flexible Terminfenster, Schutzabdeckungen, kurze Montagezeiten.
- Elektrische Sicherheit: Fehlanschluss/Überspannung → 4-Augen-Prinzip, Checklisten, Messprotokolle (Isolations-/PE-Prüfung).
- Leckage/Zündquellen → Lecktest, kontrollierte Belüftung, Verbot offener Flammen, Erdung/Potentialausgleich.

## 4.8. Test und Abstimmungszyklen

#### Vorgangsweise und Methoden

Durchgeführt wurden Site Acceptance Tests (SAT) samt mehrtagigem Probetrieb. Der Probetrieb lief über zehn aufeinanderfolgende Tage mit dokumentierten Lastprofilen (Start/Stopp, Teillast/Volllast, Nacht-/Tagbetrieb, PV-Einspeisung, Batteriepuffer, bedarfsgeführte Brennstoffzelle). Parallel dazu erfolgten Abstimmungsunden vor Ort mit dem Betreiber (ÖBF), in denen Beobachtungen aus dem laufenden Betrieb im Gerät angepasst wurden.

Die Tests folgten einem definierten SAT-Protokoll (Funktions-, Sicherheits- und Performanceprüfungen). Kernpunkte waren: Dichtheits- und Sicherheitschecks

(Gaswarnung/ Not-Aus), elektrische Prüfungen, Sequenzen für geordnetes Hoch- und Herunterfahren, Thermik-Validierung (Luftpfade, Lüfter, Temperaturgrenzen), PV-first-Betriebsstrategie mit Batteriepufferung sowie die bedarfsgeführte Zuschaltung der PEM-Brennstoffzelle. Im Ergebnis erfüllt das Wasserstoffsystem die funktionalen Kriterien. Die PV-Priorisierung mit Batteriepuffer funktioniert wie vorgesehen, die Brennstoffzelle wurde zuverlässig bei Bedarf zugeschaltet und das Schnellwechsel-Konzept des Wasserstoff-Niederdruckspeichers wurde erprobt.

#### Risikomanagement und Lösungsansätze

Folgende Risiken wurden vorab identifiziert, um diesen entsprechend vorbeugen zu können:

- Thermik bei hohen Außentemperaturen: Risiko lokaler Hotspot im Gerät → Optimierte Luftführung.
- Logistik Speicherwechsel: Risiko Undichtheiten → Lecktest verpflichtend nach jeder Kupplung, Sichtprüfung der Dichtflächen.
- Schulung & Handhabung: Die Betreiber vor Ort wurden in Betrieb, Tauschvorgang, Sicherheit eingewiesen. Ein Betriebshandbuch, ein Abnahmeprotokoll und ein Quick-Guide wurden übergeben.

Die vorgenommenen Feinjustierungen lagen im vorgesehenen Bereich und dienten der Optimierung im Realbetrieb. Damit war die SAT-Phase erfolgreich abgeschlossen und der Betrieb für die weitere Datenerhebung vorbereitet.

## 4.9. Entwicklung Service- & Tauschplan des Wasserstoffspeichers

#### Vorgangsweise und Methoden

Ein auf den Prototyp zugeschnittenes Service- und Tauschkonzept für den Wasserstoffspeicher wurde erstellt. Wichtige Parameter sind hierbei die Betriebssicherheit, die Verfügbarkeit und die einfache Handhabung. Kernpunkte sind ein tauschbasiertes Speicherkonzept (700 g H<sub>2</sub>-Niederdruckmodul) sowie Inspektions- und Wartungsintervalle. Der Betreiber (ÖBF) führt den Modultausch nach Einweisung selbstständig durch. Sämtliche Wartungen haben durch qualifiziertes Fachpersonal zu erfolgen. Ein auf den Wasserstoffgenerator und den Speichertausch bezogenes Benutzerhandbuch wurde erstellt.

#### Risikomanagement und Lösungsansätze

Aus Lasten-/Pflichtenheft und SAT-Ergebnissen wurde ein Wartungsplan abgeleitet. Dementsprechend hat monatlich eine Sicht-/Leckkontrolle zu erfolgen, vierteljährlich eine

Funktions- und Dichtheitsprüfung und jährlich eine Gesamtinspektion (Dichtungen, Filter, Befestigungen). Für die Wiederbefüllung ist ein Bestell- und Turnaround-Prozess definiert (Meldegrenze: H<sub>2</sub>-Eingangsdruck < 40 kPa bzw. lokaler Hinweis „Refill“; Anforderung Speicher; Abholung Leermodul; Rücklieferung binnen definierter Frist).

## 4.10. Genehmigung & Inbetriebnahme

Die Genehmigung durch die ÖBF und die Inbetriebnahme des Gesamtsystems am Pilotstandort Luegberghütte (ÖBF) wurden erfolgreich abgeschlossen. Die Betreiberfreigabe erfolgte auf Basis des installierten Systems, der Einschulung und des Benutzerhandbuchs.

## 4.11. Überblick der Arbeitspakete im Projekt

Nachfolgende Tabelle stellt die einzelnen Arbeitspakete im Projekt Wasserstoff autark in tabellarischer Form dar. Weiters sind der Fertigstellunggrad sowie Anmerkungen zur Zielerreichung, den Ergebnissen sowie Abweichungen ersichtlich.

Tabelle 3: Arbeitspakete im Projekt Wasserstoff autark

AP	Arbeitspaket	Fertigs	Erreichte Ergebnisse / Abweichungen
1	Projektmanagement	100%	Das Arbeitspaket „Projektmanagement“ umfasste die ganzheitliche Planung, Steuerung und Kontrolle des Projektes sowie die Sicherstellung eines reibungslosen Ablaufs in organisatorischer, inhaltlicher und administrativer Hinsicht. Dabei wurde besonderes Augenmerk auf die Einhaltung der Projektziele, die transparente Kommunikation mit allen relevanten Stakeholdern sowie die Abwicklung sämtlicher Aufgaben im Rahmen des KIRAS-Förderprojekts Wasserstoff autark gelegt. Aufgrund von Verzögerungen in der Projektplanung musste der Projektstart auf den 2.9.2024 verschoben werden.
2	Projektkonzipierung & Produktmanagement	100%	Status-quo wurde erhoben und Ausgangslage evaluiert, Bedarf & Umgebungen sondiert, Projekt Pflichtenheft wurde erstellt. Durchführung einer laufenden Überprüfung in der Engineeringphase und Abgleich zum Projektabschluss.

3	Projektengineering 1	100%	Spezifizierung der Systemkomponenten (Größe, Leistung, etc.), technische Produktdefinition sowie Spezifikationserstellung. Technischer Abgleich mit den Konsortialpartnern erfolgt.
4	Projektenengineering 2	100%	Spezifizierung der Betriebs- und Logistikkonzepte.
5	Sourcing	100%	Sourcing der Systemkomponenten: Einkauf & Beschaffung der Zukaufkomponenten. Transportwesen zur ÖBF-Hütte.
6	Konstruktion Inhouse	100%	Erstellung der mechanischen Fertigungsunterlagen, Definition der Zukaufkomponenten, Erstellung der Schaltpläne, Funktionsbeschreibung, Softwarespezifikation, Definition von Zukaufkomponenten, Aufbau & Inbetriebnahme.
7	Montage & Installation	100%	Fertigung & Testläufe der Grundfunktionalität des Systems Inhouse, Fertigung des Versuchsträgers, Verdrahtung der gesamten Einheit, Montage und Aggregate vor Ort. Installation von Software und testweise Inbetriebnahme vor Ort.
8	Test & Abstimmungszyklen	100%	Test und Abstimmungszyklen unterschiedlicher Auslegungsvarianten auf Umgebung und vorherrschende Bedingungen angepasst.
9	Entwicklung Service- & Tauschplan	100%	Entwicklung eines darauf abgestimmten Service- und Tauschplans.
10	Genehmigung & Inbetriebnahme	100%	Genehmigung und Inbetriebnahme des Gesamtsystems vor Ort.

In der nachfolgenden Tabelle wurden die Meilensteine des Projektes Wasserstoff autark übersichtlich zusammengestellt:

Tabelle 4: Meilensteine

Meilenstein Nr.	Meilenstein-bezeichnung	Basistermin	Meilenstein erreicht am	Anmerkungen zu Abweichungen
2.1M	Lastprofil erstellt	31.07.2024	31.07.2024	
2.2M	Umgebungsdaten liegen vor	31.07.2024	31.07.2024	
5.1M	Komponenten vorhanden		15.07.2025	Aufgrund von Verzögerungen in der Projektplanung kam es zu Terminabweichungen.
10.1M	Genehmigung & Inbetriebnahme erfolgt	30.04.2025	08.08.2025	Aufgrund von Verzögerungen in der Projektplanung kam es zu Terminabweichungen.

## 5. Ergebnisse

### 5.1. Prototyp

Es handelt sich um einen modularen, feldtauglichen Wasserstoff-Energiespeicher zur Stromversorgung für kritische Infrastruktur und netzferne Standorte. Der Prototyp kombiniert einen Niederdruck-Wasserstoffspeicher von HydroSolid mit PEM-Brennstoffzelle, integrierter PV-Anlage und Batteriespeicher zu einem Plug-&-Play-System mit Bedienpanel. Der Prototyp ist PKW-transportfähig, wurde auf der Luegberghütte (ÖBF) installiert und befindet sich im Probebetrieb.



Abbildung 2 Übersicht Prototyp

Der Wasserstoff-Generator ist eine effiziente und intelligente Energielösung, die Photovoltaik-Stromerzeugung und Brennstoffzellentechnologie vereint, um Verbrauchern wetterunabhängig eine stabile Stromversorgung zu bieten. Das Gerät ist mit einem 2.400-Watt-PV-System ausgestattet, das Sonnenlicht in elektrische Energie umwandelt und damit direkt die eingebaute Batterie lädt. Die Batterie verfügt über eine Speicherkapazität von 10 kWh, während der Wasserstoffspeicher HIVE Mini bis zu 700 g Wasserstoff aufnehmen kann. So kann das System bei Bedarf Energie bereitstellen, um die Stromversorgung aufrechtzuerhalten. Die Gesamtspeicherkapazität des Systems beträgt in der Grundkonfiguration ca. 21,2 kWh und erlaubt damit eine anhaltende Leistungsbereitstellung. Ein integrierter Wechselrichter wandelt den Gleichstrom in Wechselstrom um und stellt mit einer maximalen Ausgangsleistung von bis zu 2.500W die Versorgung von Verbrauchern sicher. Dadurch wird erneuerbare Energie optimal genutzt und eine CO<sub>2</sub>-arme, umweltfreundliche Stromnutzung gefördert. Bei Bedarf lässt sich die Wasserstoffspeicherkapazität, oder die elektrische Leistung erweitern.

## Vorteile auf einen Blick

- CO<sub>2</sub>-frei & leise im Betrieb: ersetzt Dieselaggregate; nur Wasserdampf als Abgas.
- Hohe Sicherheit: Niederdruckspeicherung (35 bar) statt 300-bar-Hochdruck; Gasdetektion, Belüftung, Not-Aus und definierte Betriebsanweisungen.
- Integrierte Erzeugung & Pufferung: PV + Batterie sind an Bord; kontinuierliche Versorgung auch bei wechselnder Einstrahlung.
- Einfache Handhabung vor Ort: klarer Start/Stopp-Ablauf, lokale Anzeigen, standardisierte Schnittstellen; Tausch/Refill der Speichermodule.
- Skalierbar: Kapazität und Leistung modular erweiterbar.
- Logistikfreundlich: PKW-transportfähig, schneller Aufbau, niederschwellige Installation.
- Wirtschaftlich im Betrieb: wartungsarm, kein Vor-Ort-Hochdruckkompressor nötig, geringe Lärm-/Emissionsbelastung.

## 5.2. Zielerreichung

Das Projektkonsortium sieht die Ziele des Förderprojektes als erreicht an.

### Begründung:

Der Prototyp wurde realisiert und ist installiert: Das autarke Wasserstoff-Notstromsystem wurde konzipiert, aufgebaut und am 08.08.2025 auf der Luegberghütte (ÖBF) installiert. Die Inbetriebnahme wurde durchgeführt; der Probebetrieb läuft plangemäß.

Zielkonformer Systemansatz: Plug-&-Play-Architektur mit Fokus auf Niederdruck-Speicherung und Abgabe, kompakte und PKW-transportfähige Bauweise, eine wartungsfreundliche Integration wurden umgesetzt, passend zu den Anforderungen kritischer Infrastruktur.

Sicherheit & Betrieb: Sicherheits-, Belüftungs- und Alarmkonzept, definierte Test-/Abnahmeprozeduren (FAT/SAT) wurden umgesetzt.

Kooperation & Betriebssicherung: Die Kooperationsvereinbarung mit ÖBF/GoWell/Partnern zum mindestens zweijährigen Probebetrieb liegt vor; Terminmeilensteine (Begehung 24.06.2025, Montage 08.08.2025, Präsentation 08.09.2025) wurden eingehalten.

Aktualität der Ziele:

Die Ziele (autarke, CO<sub>2</sub>-freie, sichere Notstromversorgung; robuste, modulare Lösung) sind unverändert relevant, speziell für netzferne Standorte und Resilienz kritischer Infrastruktur.

Die technische Realisierbarkeit wurde durch Aufbau, Installation und beginnende Inbetriebnahme praktisch belegt. Die weitere TRL-Anhebung und Skalierung erfolgen im Probeflug sowie in geplanten Erweiterungen (z. B. spätere Einbindung einer Erzeugung von Wasserstoff).

*Tabelle 5: Projektziele und Erreichung*

Ziel	Erreichtes Ergebnis	Status	Beleg / Hinweis
Prototyp „autarke (Not-) Stromversorgung“ auf Basis Niederdruck-H <sub>2</sub>	Prototyp aufgebaut und 08.08.2025 auf der Luegberghütte (ÖBF) montiert; Inbetriebnahme/Probeflug abgeschlossen	Erreicht	Montage 08.08.2025; Betrieb gestartet
Plug-&-Play-System, kompakt, robust, PKW-transportfähig	Modulare, feldtaugliche Bauweise; Transport & Montage im alpinen Umfeld erfolgreich durchgeführt	Erreicht	Logistik & Montagepraxis belegt
Leistungsziel Kleinstromversorgung bis zu 2,5kW(el) im Dauerbetrieb	Auslegung und Integration der Komponenten für Dauerlastbetrieb umgesetzt	Erreicht	Leistungsnachweis über Betriebsdaten
Fokus Niederdruck-Speicherung (sicher, einfach, effizient)	Niederdruck-Speicher integriert; Sicherheits-, Druck- und Abgabekonzept umgesetzt	Erreicht	Prototyp Niederdruckspeicher im Betrieb
CO <sub>2</sub> -freier Betrieb (Ersatz Dieselaggregat)	Brennstoffzelle mit H <sub>2</sub> , lokal emissionsfrei; Dieselsatz-Use-Case vorbereitet; Quantifizierung CO <sub>2</sub> -Einsparung geplant	Erreicht	Belegt, da Hütte im Inselbetrieb agiert
Sicherheitskonzept (Gaswarnung, Belüftung, Not-Aus etc.)	Sicherheitsfunktionen und Betriebsanweisungen implementiert; Dichtheit-/Funktionsprüfungen erfolgt (FAT)	Erreicht	FAT abgeschlossen; SAT/Feintuning abgeschlossen

Ziel	Erreichtes Ergebnis	Status	Beleg / Hinweis
Niederschwellige Installation & Betrieb, einfache Wiederbefüllung	Standardisierte Schnittstellen; Service- & Tauschplan entworfen, Pilotprozesse erprobt	Erreicht	H <sub>2</sub> - Speicher im Feldtest
Einsatz in kritischer Infrastruktur (Pilot)	Standortwahl ÖBF, Kooperationsvereinbarung zum 2-jährigem Probetrieb (24.06.2025)	Erreicht	Vereinbarung unterzeichnet; Begehung 24.06.2025
Marktnahes Produkt innerhalb Projektlaufzeit/Budget	Marktnaher Prototyp im Feld; Restarbeiten: Leistungsnachweis, Serviceprozesse, Dokumentation Feinschliff	Weitgehend erreicht	Abschluss Probetrieb mit Juni 2027

### 5.3. Highlights im Projekt

Der Prototyp wurde installiert: Konzeption, Aufbau und Montage auf der Luegberghütte wurden am 08.08.2025 abgeschlossen.

- Die Anlage entspricht dem vorgesehenen Plug-&-Play-Ansatz für kritische Infrastruktur; der Probetrieb läuft.
- Integriertes Gesamtsystem: Speicher, Brennstoffzelle, Medienführung, Mess-/Sicherheitstechnik sind funktionsfähig gekoppelt. FAT erfolgreich, SAT/Finetuning abgeschlossen.
- Sicherer Betrieb: Gaswarnung, Belüftung, Zündquellenmanagement, Druckentlastung und Not-Aus implementiert; Betriebs- und AbnahmeprozEDUREN sind dokumentiert, eine eigene Betriebsanleitung wurde erstellt.
- Transport- & Montagefähigkeit nachgewiesen: PKW-transportfähige, robuste und wartungsfreundliche Bauweise; alpine Logistik (Zugang, Aufstellung, Anschluss) wurde erfolgreich bewältigt.
- Verbindlicher Betriebshorizont: Kooperationsvereinbarung ÖBF–HydroSolid–GoWell für mindestens zwei Jahre Probetrieb unterzeichnet; Meilensteine (Begehung 24.06.2025, Montage 08.08.2025, Präsentation 08.09.2025) eingehalten.
- Betriebs- und Servicekonzept vorbereitet: Wiederbefüll- und Servicepläne erstellt; standardisierte Schnittstellen ermöglichen skalierbare Kapazitäts- und Leistungsstufen.

## 5.4. Herausforderungen & Lösungen

Nachfolgend werden die Herausforderungen aufgezeigt, die sich während der Umsetzung des Projektes ergeben haben:

- **Kompakte Bauweise des Niederdruckspeichers:** Sicherheitsabstände, Servicezugänglichkeit, Isolations- und Thermik-Anforderungen standen im Zielkonflikt mit einem sehr geringen Platzangebot. Maßnahmen: Mehrstufiges Layout (modulare Racks), 3D-Packstudien, optimierte Leitungsführung, schnell lösbarer Anschlüsse und definierte Serviceklappen; thermische Entkopplung kritischer Komponenten. Ergebnis: PKW-transportfähige Einbausituation mit klaren Wartungswegen.
- **Thermik & Regelparameter im Feld:** Temperaturführung, Rampen/Hysterese und Alarmgrenzen mussten an reale Lastwechsel angepasst werden. Maßnahmen: Iteratives Tuning im SAT, Anpassung der Luftführung und Grenzwerte, belastbare Start-/Stopp-Sequenzen. Ergebnis: Stabilerer Dauerbetrieb.
- **Genehmigungs- und Nachweisdichte:** Zusätzliche Dokumente (Gefährdungsbeurteilung, Belüftungs- und Zündquellenkonzept) verlängerten die Vorlaufzeit. Maßnahme: Frühe Einbindung Betreiber, Einschulung der Nutzer, klare Betriebsanweisung. Ergebnis: Reibungslose Montage und Inbetriebnahme.
- **Lieferzeiten und Beschaffung von Komponenten:** Einzelne Komponenten mit langen Vorlaufzeiten. Maßnahme: Frühdisposition kritischer Teile, qualifizierte Alternativen in der Stückliste. Ergebnis: Zeitplan insgesamt gehalten; Funktionsumfang unverändert.

## 6. Diskussion

Die Ergebnisse des Projekts „Wasserstoff autark“ zeigen deutlich, dass ein Niederdruck-Wasserstoffgenerator als integraler Bestandteil eines autarken Energiesystems technisch realisierbar, betrieblich stabil und für den Einsatz in kritischer Infrastruktur geeignet ist. Der entwickelte Prototyp vereint Photovoltaik, Batteriespeicher, Brennstoffzelle und Niederdruck-Wasserstoffspeicher zu einem robusten, modularen Gesamtsystem und schließt damit eine technologische Lücke zwischen kurzfristiger und langfristiger erneuerbarer Energieversorgung. Im Folgenden werden die Ergebnisse in Bezug auf den Stand der Technik, die wissenschaftlichen Fragestellungen sowie den erwarteten Nutzen und die Grenzen des Systems diskutiert.

## 6.1. Einordnung in den Stand der Technik

Im Bereich der autarken Energieversorgung dominieren bis heute Dieselaggregate sowie PV-Batterie-Hybridsysteme. Während batteriegestützte Systeme kurzfristige Schwankungen hervorragend ausgleichen können, stoßen sie bei saisonalen Speichern, oder im Winterbetrieb an ihre Grenzen. Den Einsatz von Wasserstoff gab es bisher vor allem in Kombination mit Hochdruckspeichern, die jedoch sicherheitstechnisch, logistisch und wirtschaftlich deutliche Nachteile aufweisen.

Das Projekt greift diesen Forschungsstand auf und erweitert ihn entscheidend durch den Einsatz der patentierten Niederdruckspeichertechnologie von HydroSolid. Diese ermöglicht bei 35 bar, eine signifikant erhöhte Sicherheitsstufe, geringere Systemkomplexität und niedrigere Gesamtkosten und das bei einer gleichzeitigen Erhöhung der Energiedichte. Damit entsteht ein neues Lösungsfeld zwischen klassischen Wasserstoffsystmen und batteriebasierten Speichern, das besonders für sensible und schwer zugängliche Standorte geeignet ist.

Im Vergleich zu bestehenden Systemarchitekturen bestätigt das Projekt, dass eine intelligente Kombination aus PV, Batterie, Brennstoffzelle und Niederdruck-H<sub>2</sub>-Speicher sowohl Effizienzsteigerungen als auch eine deutliche Erhöhung der Versorgungssicherheit ermöglichen kann.

## 6.2. Erkenntnisse aus Entwicklung und Feldtest

Die Entwicklungs- und Testphase hat zentrale wissenschaftliche Erkenntnisse hervorgebracht:

### 1. Systemintegration

Die Kombination aus PV-Erzeugung, Batteriespeicher und Brennstoffzelle erfordert ein präzises Zusammenspiel mathematischer Regelalgorithmen. Die im Projekt entwickelte „PV-first“-Strategie hat sich in der Praxis bewährt und führte zu einer hohen Energieeffizienz bei gleichzeitig geringer Brennstoffzellen-Belastung.

### 2. Thermisches Management und Betriebsführung

Die Regelung des Temperaturverhaltens der Speicher und der Brennstoffzelle ist ein zentraler Faktor für Lebensdauer und Betriebsstabilität. Die iterative Optimierung der Luftführung und Temperaturhysterese im SAT zeigte, dass bereits kleine Änderungen eine deutliche Effizienzsteigerung bewirken können.

### 3. Sicherheit und Handhabung

Die modulare Niederdruckspeicherung erleichtert nicht nur Transport und Logistik, sondern führt auch zu einer natürlichen Risikoreduktion gegenüber Hochdrucksystemen. Dies ist für kritische Infrastruktur ein wesentlicher Vorteil.

### 4. Anwenderfreundlichkeit

Die Rückmeldungen des Betreibers (ÖBF) bestätigen, dass ein Plug-&-Play-System, das mittels PKW transportierbar ist und einen einfachen Speichertausch erlaubt, einen enormen praktischen Nutzen darstellt. Dies ist insbesondere im alpinen Bereich entscheidend.

### 5. Technologische Skalierbarkeit

Das modulare Konzept ermöglicht die Erweiterung sowohl der elektrischen Leistung als auch der Speicherkapazität. Dadurch wird das System zukunfts- und marktfähig.

## 6.3. Wissenschaftliche Bewertung der Projektergebnisse

### Stärken des Ansatzes

Das entwickelte System vereint die kurzfristige Energiespeicherung in Batterien mit der langfristigen Speicherung in Form von Wasserstoff in einem kompakten Gesamtsystem. Durch die Niederdruckspeicherung ergibt sich ein wesentlicher sicherheitstechnischer und wirtschaftlicher Vorteil gegenüber klassischen Hochdrucklösungen. Die hohe Systemeffizienz wird durch eine sorgfältig abgestimmte Betriebsstrategie erreicht, bei der Photovoltaik, Batteriespeicher und Brennstoffzelle optimal zusammenspielen. Die Ausführung ist robust und wartungsarm konzipiert, sodass ein zuverlässiger Betrieb auch unter anspruchsvollen Bedingungen möglich ist. Dies konnte im Realbetrieb unter alpinen Einsatzbedingungen erfolgreich nachgewiesen werden. Gleichzeitig erfüllt das System alle relevanten sicherheitstechnischen Anforderungen, wodurch es sich besonders für den Einsatz in sensiblen Bereichen der kritischen Infrastruktur eignet.

### Grenzen und Herausforderungen

Obwohl das Projekt erfolgreich verlief, zeigten sich auch Herausforderungen:

- Die Integration einer zukünftigen Elektrolyse vor Ort erfordert zusätzliche Systemkomplexität, insbesondere hinsichtlich Wärmemanagement und stoßfreier Betriebslasten.
- Saisonale Schwankungen können im Winterbetrieb zu Engpässen führen, wenn lange Schlechtwetterphasen auftreten, hier ist die Speicherkapazität entscheidend.

- Die Abhängigkeit von wiederbefüllten H<sub>2</sub>-Modulen erfordert eine funktionierende Logistikkette, die regional unterschiedlich gut umsetzbar ist.
- Die Skalierung auf größere Leistungen stellt höhere Anforderungen an Austauschlogistik, Brennstoffzellenkapazität und Speichergröße dar.

Diese Herausforderungen sind technologisch adressierbar und weisen auf konkrete Weiterentwicklungsfelder hin.

### **Verwertung und zukünftiger Nutzen**

Die wirtschaftliche Verwertung ist durch die Modularität des Systems gegeben. Zu den vielversprechendsten Anwendungen zählen:

- Kritische Infrastruktur (z. B. Forstbetriebe, Bergstationen, Katastrophenschutz)
- Almhütten, abgelegene Häuser oder landwirtschaftliche Betriebe
- Mobile Energieversorgung (z.B. für Outdoor-Events, Baustellen, Einsatzorganisationen)
- Notstromversorgung staatlicher Einrichtungen
- Militärische und sicherheitsrelevante Anwendungen

Der Prototyp dient bereits jetzt als Demonstrator bei den Österreichischen Bundesforsten und wird im zweijährigen Probebetrieb kontinuierlich weiter analysiert. Eine spätere Markteinführung, ergänzt um eine lokale Elektrolyseoption, erscheint realistisch und technologisch umsetzbar.

## **7. Verwertung und Dissemination**

Im Rahmen des Projekts wurde ein Wasserstoffgenerator auf der Luegberghütte in Waidhofen an der Ybbs installiert, der als Pilotanlage dient und die Praxistauglichkeit des Systems demonstriert. Dabei entstand ein autarkes Energiesystem auf Basis der HYDROSOLID® HIVE Wasserstoffspeicher, das als Vorzeigbeispiel für die Versorgung kritischer Infrastruktur gilt. Die erfolgreiche Umsetzung wurde durch die enge Zusammenarbeit mit den Österreichischen Bundesforsten, der HydroSolid GmbH und der GoWell GmbH ermöglicht, um die Technologie gemeinsam zu nutzen und weiterzuentwickeln. Eine wirtschaftliche Verwertung ist möglich und wird aktiv angestrebt, insbesondere durch die Skalierung des Systems für weitere abgelegene Hütten und Standorte kritischer Infrastruktur.

Zur Verbreitung der Projektergebnisse wird eine publizierbare Kurzfassung gemeinsam mit diesem wissenschaftlichen Bericht auf der Webseite des BMF veröffentlicht. Patenteinreichungen sind derzeit nicht vorgesehen.

Geplant ist die Erweiterung der autarken Technologie für zusätzliche Anwendungen in der kritischen Infrastruktur, einschließlich der Erzeugung von grünem Wasserstoff direkt in den Anlagen. Darüber hinaus soll die Integration einer Wasserstoffproduktion als eigenständiger Business Case erfolgen, um das bestehende System zu ergänzen und neue Marktpotenziale zu erschließen.

Der Prototyp in der Luegberghütte wird als Demonstrationsobjekt für zukünftige Projekte genutzt und bleibt mindestens zwei Jahre im Probebetrieb, um wertvolle Erkenntnisse für die Serienreife zu gewinnen. Zudem wird er in zukünftige Geschäftsmodelle eingebunden. Die Zusammenarbeit mit den Konsortialpartnern wird weiterhin angestrebt.

## 8. Fazit und Ausblick

Ein Niedrigdruck-Wasserstoffgenerator mit Brennstoffzelle und Photovoltaik kann fossile Notstromaggregate ersetzen. Überschüsse aus der Photovoltaik werden dabei sinnvoll gespeichert und lokale Versorgungssicherheit geschaffen. Damit trägt der Wasserstoff-Generator sowohl zur Dekarbonisierung als auch zur Resilienz der Energieversorgung bei. Der im Projekt entwickelte Wasserstoff-Generator mit Photovoltaik und Brennstoffzelle kann bei kritischer Infrastruktur Emissionen und fossile Abhängigkeiten massiv senken, die Versorgungssicherheit erhöhen (kein Risiko von Diesel-Engpässen), PV-Überschüsse sinnvoll nutzen und gleichzeitig die Resilienz gegen Blackouts oder Krisen deutlich steigern.

### Beitrag zur Nachhaltigkeit

Das Projekt "Wasserstoff autark" - autarke Notstromversorgung auf Basis von grünem Wasserstoff bringt auf vielen Ebenen einen Beitrag zur Nachhaltigkeit.

#### 1. Ökologische Beiträge zur Nachhaltigkeit:

##### CO<sub>2</sub>-Reduktion:

Grüner Wasserstoff (erzeugt durch Elektrolyse mit erneuerbarem Strom, z.B. aus PV) ist emissionsfrei. Der Betrieb der Brennstoffzelle setzt nur Wasserdampf frei → keine direkten CO<sub>2</sub>-, NO<sub>x</sub>- oder Feinstaubemissionen. Im Vergleich zu Dieselaggregaten oder fossilen Backup-Systemen können so jährlich mehrere Tonnen CO<sub>2</sub> eingespart werden.

#### Lokale Emissionsfreiheit:

Keine Luftschadstoffe, kein Lärm im Vergleich zu z.B. Dieselaggregatoren. Vorteil ist besonders in sensiblen Bereichen der kritischen Infrastruktur zu betonen (Krankenhäuser, Wohngebiete, Naturräume).

#### Ressourcenschonung:

Für die Nutzung eines Wasserstoffaggregats sind im Betrieb keine fossilen Energieträger notwendig. Lediglich für den Transport fallen Emissionen an.

### **2. Ökonomische & Energietechnische Beiträge**

#### Langfristige Speicherung:

Wasserstoff ermöglicht auch die saisonale und langfristige Speicherung von PV-Überschüssen (anders als Batterien, die eher kurz- bis mittelfristig ausgleichen). Damit wird die Eigenverbrauchsquote von PV-Anlagen erhöht. Im Pilotbetrieb gibt es keine Elektrolyse, dies ist aber in Zukunft und bei größeren Projekten durchaus angedacht.

#### Netzunabhängigkeit & Versorgungssicherheit:

Niedrigdruckspeicherung ist sicherer und kostengünstiger als Hochdruckspeicherung von Wasserstoff. Durch die Brennstoffzelle kann ein Gebäude oder ein Betrieb auch bei Netzausfall zuverlässig und ohne Unterbrechung versorgt werden.

#### Reduktion von Netzbelastungen:

Durch Zwischenspeicherung und Eigenverbrauch wird weniger Strom ins Netz eingespeist. Somit kommt es zur Entlastung von Spitzenlasten und Netzausbaukosten, sofern zukünftig auch eine Elektrolyse vor Ort durchgeführt wird.

### **3. Systemische & Gesellschaftliche Beiträge**

#### Sektorkopplung:

Verknüpfung von Strom (PV), Speicherung ( $H_2$ ) und Wärme (Abwärme der Brennstoffzelle nutzbar), somit effizientere Gesamtsysteme.

#### Dezentrale Energiewende:

Kleine, modulare Wasserstoffsystme machen die Energieversorgung lokaler, resilenter und unabhängiger von zentralen fossilen Strukturen.

#### Kreislaufgedanke:

Verwendung von überschüssigem erneuerbarem Strom, der sonst abgeregelt werden müsste, steigert die Gesamteffizienz der Energiewende.

## Anhang

Kontaktdaten: aller Konsortialpartner

HYDROSOLID GMBH  
Siedlerstraße 31  
3150 Wilhelmsburg



GOLD UND WELSER PROJEKTENTWICKLUNG UND  
BETEILIGUNGS GMBH  
Hauptplatz 3-5  
3340 Waidhofen an der Ybbs



ÖSTERREICHISCHE BUNDESFORSTE AG  
Stiftgasse 1  
9872 Millstatt

