

Publizierbarer Endbericht

Gilt für Studien aus der Programmlinie Forschung

A) Projektdaten

Allgemeines zum Projekt	
Kurztitel:	H2Alpin
Langtitel:	Roll-out der Wasserstoffmobilität im alpinen Raum
Zitiervorschlag:	H2Alpin
Programm inkl. Jahr:	Zero Emission Mobility Implementation 1.AS 2020
Dauer:	01.01.2022 bis 31.12.2025
KoordinatorIn/ ProjekteinreicherIn:	Standortagentur Tirol GmbH (SAT)
Kontaktperson Name:	Markus Winkler
Kontaktperson Adresse:	Ing.-Etzel-Straße 17, 6020 Innsbruck
Kontaktperson Telefon:	+43 512 57 62 62-286
Kontaktperson E-Mail:	markus.winkler@standort-tirol.at
Projekt- und KooperationspartnerIn (alle aus Tirol):	• FEN Research GmbH (FENR) • Gebrüder Weiss Gesellschaft m.b.H. (GW) • Innsbrucker Verkehrsbetriebe und Stubaitalbahn GmbH (IVB) • JuVe AutoMotion GmbH (JV) • MCI Internationale Hochschule GmbH (MCI) • Österreichische Postbus AG (Postbus) • TIWAG - Tiroler Wasserkraft AG (TIWAG) • Universität Innsbruck (UIBK) • Verkehrsverbund Tirol GesmbH (VTG) • Wirtschaftskammer Tirol (WKT) • Energieagentur Tirol GmbH (EA) • Zillertaler Verkehrsbetriebe AG (ZVB)
Schlagwörter:	FCE Busse, FCE LKWs, Wasserstoff, alpiner Raum, Beschaffungsplattformen, LCA, Energieszenarien

Allgemeines zum Projekt	
Projektgesamtkosten:	1 711 675,00 €
Fördersumme:	820 882,00 €
Klimafonds-Nr:	FFG: 888280
Erstellt am:	19.03.2026

B) Projektübersicht

1 Kurzfassung

Das Projekt H2Alpin verfolgte das Ziel, den Roll-out der Wasserstoffmobilität im alpinen Raum Tirols vorzubereiten und evidenzbasiert zu unterstützen. Im Mittelpunkt standen Tests von Brennstoffzellen-Bussen (FCEB) und Brennstoffzellen-Nutzfahrzeugen bzw. -LKWs (FCET) unter den spezifischen geografischen, topografischen und klimatischen Bedingungen des Alpenraums. Parallel dazu sollten wirtschaftliche, organisatorische und infrastrukturelle Rahmenbedingungen für einen langfristigen Einsatz von Wasserstoffmobilität analysiert und weiterentwickelt werden

Die erreichten Projektziele umfassen

- die Praxiserprobung von FCEBs und FCETs unter alpinen Einsatzbedingungen;
- den erfolgreichen Aufbau einer Beschaffungsplattform für Nutzfahrzeuge (FCET) durch die JuVe Automotion GmbH;
- die Sicherstellung der erforderlichen Wasserstofflogistik und -versorgung;
- die Ableitung von Empfehlungen für einen raschen und realistischen Markthochlauf der Wasserstoffmobilität in Tirol und
- die Rückkoppelung der Ergebnisse in die Energiestrategie TIROL 2050 energieautonom.

FCETs

Ein wesentliches Projektergebnis ist die erfolgreiche Integration eines FCET in den täglichen Logistikbetrieb der MPREIS Warenvertriebs GmbH über die Projektpartnerin JuVe Automotion GmbH. Seit Februar 2023 wurde ein Brennstoffzellen-LKW zunächst von der Herstellerfirma Hyzon betrieben, der später durch einen Hyundai Xcient Fuel Cell Truck ersetzt wurde. Dieses Fahrzeug ging im Mai 2025 erstmals in Österreich regulär in Betrieb und wurde vollständig in eine reale Verteil-Nutzfahrzeugflotte integriert.

Dabei konnte die technische Einsatzfähigkeit von FCETs im alpinen Raum, inklusive Steigungsfahrten, winterlicher Bedingungen und regulärer Tourenplanung demonstriert werden, mit parallelem Aufbau einer After-Sales- und Serviceinfrastruktur (Werkstätte, Ersatzteile, geschultes Personal) in Tirol. Die Gewinnung realer Betriebs- und Fahrdaten dient als Grundlage für weitere Bewertungen und Marktvergleiche. Es wurde eine funktionierende Beschaffungsplattform (JuVe AutoMotion) für FCETs etabliert, inklusive erster Miet- und Pay-per-use-Modelle (wenn auch wirtschaftlich noch nicht tragfähig).

Gleichzeitig wurde klar, dass ein großflächiger Einsatz von FCETs derzeit aufgrund hoher OPEX-Kosten im Vergleich zu Diesel- und batterieelektrischen Fahrzeugen,

fehlender flächendeckender 350-bar-Wasserstofftankstelleninfrastruktur und ungünstiger Förderbedingungen (ENIN), die batterie-elektrische Fahrzeuge bevorteilen, noch nicht wirtschaftlich darstellbar ist.

FCEBs

Im Busbereich zeigte sich ein deutlich differenzierteres Bild. Über große Teile der Projektlaufzeit standen keine serienreifen, alpintauglichen FCE-Busse für einen langfristigen Linieneinsatz zur Verfügung. Für die Evaluierung geeigneter Busmodelle wurden Testfahrten mit FCEBs verschiedener Herstellerfirmen absolviert. Ein wesentlicher qualitativer Durchbruch war jedoch der Testbetrieb eines FCE-Low-Entry-Busses der Firma MCV am 13.11.2025. Bei einer anspruchsvollen Testfahrt (Kematen – Praxmar – Kühtai – Ötz – retour) konnte gezeigt werden, dass diese neue Generation von Wasserstoffbussen grundsätzlich für den Einsatz im alpinen Gelände tauglich ist. Insbesondere die Leistungsfähigkeit des Antriebsstrangs und das Anfahren an Steigungen erfüllten die Anforderungen. Gleichzeitig wurde deutlich, dass eine streckenspezifische Auslegung von Brennstoffzelle und Batterie zwingend notwendig ist, um Rekuperation und Energieeffizienz zu optimieren. Auch hier verhindern derzeit die Verfügbarkeit von Tankstellen sowie hohe OPEX-Kosten die weitere Umsetzung.

Zusätzlich entwickelte die Innsbrucker Verkehrsbetriebe und Stubaitalbahn GmbH (IVB) eine webbasierte Softwarelösung für das Betriebshof- und Flottenmanagement, die als vorbereitende Maßnahme für zukünftige FCEB-Flotten dient (Garagierung, Wartung, Verfügbarkeit, Schnittstellen zu Fahrplänen).

Monitoring-Ergebnisse

Die Ergebnisse einer Lebenszyklusanalyse des (LCA) zum Vergleich verschiedener Antriebstechnologien zeigen Vorteile von batterieelektrischen Fahrzeugen (BEVs) in vielen Szenarien aufgrund höherer Energieeffizienz. Potenzielle Vorteile von FCEVs werden nur bei 100% erneuerbarem Strommix und speziellen Einsatzprofilen erreicht. Für alle Antriebskonzepte gilt ein deutlich erhöhter Energiebedarf bei alpinen Steigungsfahrten, welcher aber durch Rekuperation bei Talfahrt stark reduziert werden kann.

Mehrere Abschlussarbeiten wurden am MCI im Rahmen des Projekts H2Alpin betreut.

Die Projektergebnisse flossen direkt in strategische Prozesse des Landes Tirol ein (u.a. Energie-Zielszenario Tirol 2050) und liefern eine belastbare Entscheidungsgrundlage für Politik, Verwaltung, Verkehrsunternehmen und Wirtschaft. Insgesamt leistet H2Alpin damit einen wichtigen Beitrag zur evidenzbasierten Vorbereitung der emissionsfreien Mobilitätswende im alpinen Raum.

2 Executive Summary

The H2Alpin project aimed to prepare and provide evidence-based support for the roll-out of hydrogen mobility in the Alpine region of Tyrol. The project focused on testing fuel cell electric buses (FCEBs) and fuel cell electric trucks and commercial vehicles (FCETs) under the specific geographical, topographical, and climatic conditions of the Alpine environment. In parallel, the economic, organizational, and infrastructural framework conditions for the long-term deployment of hydrogen mobility were analysed and further developed.

The project objectives achieved include

- the practical testing of FCEBs and FCETs under Alpine operating conditions;
- the successful establishment of a procurement platform for commercial vehicles (FCETs) by JuVe AutoMotion GmbH;
- ensuring the required hydrogen logistics and supply;
- deriving recommendations for a rapid and realistic market ramp-up of hydrogen mobility in Tyrol; and
- feeding the results back into the Tyrol 2050 Energy Autonomy Strategy.

FCETs

A key project outcome is the successful integration of an FCET into the daily logistics operations of MPREIS Warenvertriebs GmbH via the project partner JuVe AutoMotion GmbH. Since February 2023, a fuel cell truck from the manufacturer Hyzon was initially operated and later replaced by a Hyundai Xcient Fuel Cell Truck. This vehicle entered regular operation in Austria for the first time in May 2025 and was fully integrated into a real distribution fleet.

This demonstrated the technical feasibility of FCETs in Alpine regions, including uphill driving, winter conditions, and regular route planning, alongside the parallel establishment of after-sales and service infrastructure (workshops, spare parts, trained personnel) in Tyrol. The collection of real-world operational and driving data provides a basis for further evaluation and market comparisons. A functioning procurement platform (JuVe AutoMotion) for FCETs was established, including initial rental and pay-per-use models, although these are not yet economically viable.

At the same time, it became evident that large-scale deployment of FCETs is currently not economically feasible due to high operating costs compared to diesel and battery-electric vehicles, the lack of a nationwide 350-bar hydrogen refueling infrastructure, and unfavorable subsidy conditions (ENIN), which currently favor battery-electric vehicles.

FCEBs

In the bus sector, a more differentiated picture emerged. For much of the project duration, no series-production, Alpine-capable fuel cell buses were available for

long-term route operation. To evaluate suitable models, test drives with FCEBs from various manufacturers were conducted. A major qualitative breakthrough was achieved with the test operation of an FCE low-entry bus from MCV on 13 November 2025. During a demanding test route (Kematen – Praxmar – Kühtai – Ötz – return), it was demonstrated that this new generation of hydrogen buses is fundamentally suitable for operation in Alpine terrain. In particular, the performance of the drivetrain and the ability to start on steep gradients met the requirements.

At the same time, it became clear that route-specific design of the fuel cell and battery is essential to optimize recuperation and energy efficiency. As with FCETs, the current lack of refueling infrastructure and high operating costs continue to hinder further implementation.

In addition, Innsbrucker Verkehrsbetriebe und Stubaitalbahn GmbH (IVB) developed a web-based software solution for depot and fleet management as a preparatory measure for future FCEB fleets, covering garaging, maintenance, availability, and interfaces with timetable systems.

Monitoring Results

The results of a life cycle assessment (LCA) comparing different drive technologies show advantages for battery-electric vehicles (BEVs) in many scenarios due to their higher energy efficiency. Potential advantages of fuel cell electric vehicles (FCEVs) are only achieved with a 100% renewable electricity mix and for specific operating profiles. For all drive concepts, alpine uphill driving results in significantly increased energy demand, although this can be greatly reduced through recuperation on downhill routes.

Several final theses were supervised at MCI as part of the H2Alpin project.

The project results were directly incorporated into strategic processes of the State of Tyrol (including the Tyrol 2050 Energy Target Scenario) and provide a robust decision-making basis for policymakers, public administration, transport operators, and industry. Overall, H2Alpin makes a significant contribution to the evidence-based preparation of the zero-emission mobility transition in the Alpine region.

3 Hintergrund und Zielsetzung

Ausgangslage

Die Alpen sind eine ökologisch besonders sensible Region, in der Verkehr und Mobilität erhebliche Auswirkungen auf Mensch und Umwelt haben. In Tirol trägt der Verkehrssektor mit rund 41 % maßgeblich zu den Treibhausgasemissionen bei. Der Transitverkehr über den Brennerkorridor mit fast 2,5 Mio. Schwerfahrzeugen jährlich und der stetig wachsende regionale Verkehr stellen große Herausforderungen dar. Die Topographie mit engen Tälern, steilen Straßen und extremen Wetterbedingungen verschärft die Situation zusätzlich.

Gleichzeitig verfolgt das Land Tirol mit der Strategie „Tirol 2050 energieautonom“ ambitionierte Ziele zur Reduktion fossiler Energieträger und zur Förderung emissionsfreier Mobilität. Wasserstoff wurde dabei frühzeitig als Schlüsseltechnologie für den Schwerlastverkehr und den öffentlichen Personennahverkehr identifiziert. Erste Pilotprojekte, vor allem im urbanen Bereich, liefern wichtige Erfahrungen, jedoch fehlen systematische Daten zur Anwendung von Brennstoffzellenbussen und -Lkw unter alpinen Bedingungen.

Damit bleibt der Nachweis offen, ob Wasserstofffahrzeuge in Bezug auf Leistung, Energieeffizienz, Wartung und Wirtschaftlichkeit im Alpenraum bestehen können. Zudem sind hohe Anschaffungs- und Betriebskosten, fehlende Tankstelleninfrastruktur und Unsicherheiten in der Wasserstoffproduktion und -logistik zentrale Hemmnisse für einen breiteren Einsatz.

Aufgabenstellung

Das Projekt H2Alpin nimmt diese Herausforderungen auf und entwickelt einen ganzheitlichen Ansatz für die Einführung von Wasserstoffmobilität in der Alpenregion. Dabei werden technische, wirtschaftliche und organisatorische Aspekte integrativ behandelt.

- Technisch: Entwicklung standardisierter Testverfahren und Datenschnittstellen, um reale Fahr-, Energie- und Wartungsdaten von Brennstoffzellenfahrzeugen unter alpinen Bedingungen zu erheben und vergleichbar zu machen. Die Plattform soll auch für andere Pilotprojekte offenstehen.
- Ökonomisch: Erstellung von Kosten-Nutzen-Bewertungen und Lebenszyklusanalysen für Busse und Lkw, Entwicklung nachhaltiger Geschäftsmodelle wie Fahrzeugpools und Pay-per-Use-Ansätze, die insbesondere KMUs den Zugang zur Technologie erleichtern. Zudem sollen intelligente Preismodelle für Wasserstoff auf Basis von Bedarfs- und Produktionssimulationen erarbeitet werden.
- Organisatorisch: Planung einer regionalen Roadmap zur Wasserstoffmobilität bis 2035, inklusive Bedarfsprognosen, Standortplanung für Produktion und Betankung, Tankprotokollen und

Logistiklösungen. Dabei wird auch die saisonal schwankende Nachfrage im Tourismus berücksichtigt.

Zielsetzung

Das übergeordnete Ziel von H2Alpin ist es, die großflächige Implementierung wasserstoffbetriebener Mobilität im alpinen Raum vorzubereiten und wissenschaftlich zu begleiten. Dafür werden drei Säulen verfolgt:

1. Technische Erkenntnisse: Gewinnung valider Daten zu Fahrverhalten, Energiebedarf und Performance von Brennstoffzellenfahrzeugen im alpinen Einsatz. Identifikation der Fahrzeugtypen mit optimaler Eignung für Busse und Lkw.
2. Neue Geschäftsmodelle: Entwicklung von Plattformen zur gemeinschaftlichen Beschaffung, Wartung und Vermietung von Fahrzeugen sowie von Vermarktungsstrategien für grünen Wasserstoff. Damit soll das finanzielle Risiko für Anwender reduziert und der Markthochlauf beschleunigt werden.
3. Strategische Planung: Aufbau eines Umsetzungspfads für eine regionale Wasserstoffwirtschaft, die Produktion, Logistik, Infrastruktur und politische Rahmenbedingungen integriert.

Langfristig soll H2Alpin helfen, das „Henne-Ei-Problem“ von Angebot und Nachfrage zu überwinden, Planungssicherheit für Akteure zu schaffen und den Beitrag Tirols zur europäischen Klimaneutralität deutlich zu verstärken. Bereits bis 2030 wird eine CO₂-Einsparung von rund 17.700 Tonnen angestrebt.

4 Projektinhalt und Ergebnisse

Die Aufgabenstellungen zur Erreichung der Ziele in H2Alpin wurden in 7 Arbeitspakete gegliedert und im Konsortium gemäß Tabelle 1 bearbeitet.

Tabelle 1: Übersicht der H2Alpin Arbeitspakete.

Arbeitspaket (AP)	Bezeichnung	Lead
AP1	<i>Projektmanagement</i>	SAT
AP2	<i>Konzeption, Szenarienbildung und -bewertung</i>	FENR
AP3	<i>Aufbau nachhaltiger Geschäftsmodelle, Business Ecosystem</i>	VTG
AP4	<i>Vorbereitung der Demonstrationsphase</i>	SAT
AP5	<i>Begleitendes Monitoring</i>	MCI
AP6	<i>Demonstrationsphase</i>	JuVe
AP7	<i>Dissemination und Roll-out Vorbereitung</i>	SAT

Im Folgenden werden die Meilensteine und Ergebnisse der einzelnen Arbeitspakete (AP) im Detail beschrieben und in dieser Weise der Projektinhalt dargestellt.

AP1 Projektmanagement (SAT)

Das Projektmanagement umfasste regelmäßige Abstimmungen im Konsortium, Dokumentation und Koordination der Projektstätigkeiten, sowie die fristgerechte Berichterstattung an die fördergebenden Stellen (FFG und KLIEN) in den jeweils vorgesehenen Intervallen. Als Grundlage für das Projektmanagement dienten die PCO-Standards der SAT und der Konsortialvertrag des Projekts.

AP2 Konzeption, Szenarienbildung und -bewertung (FENR)

Task 2.1 Einbringung des Knowhows (FENR)

Ergebnisse aus parallel zu H2Alpin laufenden und bereits abgeschlossenen Wasserstoffprojekten im Mobilitätssektor aus Südtirol und Nordtirol, die im Kontext „Tirol 2050 energieautonom“ stehen, wurden in einem Deliverable zusammengefasst und dem Konsortium präsentiert.

Task 2.2 Aufbau eines Testsettings (VTG)

Monitoringparameter wurden basierend auf Literaturrecherchen zu FCE-Bussen und -LKW identifiziert und in einer Liste zusammengestellt. Die erforderliche Datenverarbeitung wurde abhängig von der Fahrzeugherstellerfirma definiert. In einem Austausch mit dem Grazer Projekt ZEM move2zero wurden verfügbare Parameter für Testfahrten mit einem Solaris-Bus festgelegt. Für die Datenerhebung bei den LKWs wurde die Parameterliste mit JuVe bzgl. Datenverfügbarkeit abgestimmt. Außerdem wurde eine Fahrer:innenbefragung erstellt, um zusätzlich zu den technischen Parametern noch qualitative Informationen zu erheben und deren Einfluss auf die Daten zu analysieren.

Task 2.3 Wissenschaftliche Forschung (UIBK)

Im Sinne der Grundlagenanalyse wurde der gesetzliche Rahmen für die Dekarbonisierung des ÖPNV evaluiert (CVD, SFBG). Technologisch wurden die unterschiedlichen technischen Möglichkeiten für LKW und Busse vertiefend betrachtet. Es wurden Fahrleistungen des ÖPNV detailliert ermittelt und der Energiebedarf zukünftiger Wasserstoffanwendungen auch vor dem Hintergrund der parallel rasch voranschreitenden Entwicklung von batterieelektrischen Fahrzeugen bestimmt. Zudem wurden die Ergebnisse aus der Aktualisierung des Energie-Zielszenario Tirol 2050 energieautonom im Jahr 2024 eingearbeitet.

Task 2.4 Bedarfsanalyse (MCI)

Wasserstoffbedarfsabschätzungen für Tirol erfolgten in Anlehnung an die Bedarfsabschätzungen aus den Energie-Ziel-Szenarien unter Berücksichtigung neuer Rahmenbedingungen wie nationaler und internationaler Zielsetzungen und Direktiven und technologischer Entwicklungen.

Es wurde eine Umfrage mit Tiroler Unternehmen durchgeführt, um deren Planungen und Einschätzungen zu Bedarfen und Erwartungen bzgl. Wasserstofftechnologien zu erheben. Die Mehrheit ist prinzipiell sehr an

Wasserstoff interessiert, bleibt aber mit der Umsetzung abwartend in Hinblick auf Technologieentwicklungen.

Eine Masterarbeit zu Erwartungen der Industrie und Expert:innenbefragungen zu einem späteren Zeitpunkt im Projekt ergaben allerdings, dass der Optimismus für einen Einsatz von Wasserstoff in den letzten Jahren nachgelassen hat. Das ging auch aus der Studie „Energie-Zielszenario für Tirol“, die im Rahmen von Tirol 2050 energieautonom triennial durchgeführt wird, hervor. Im Vergleich zu 2019 wurden der Wasserstoff-Mobilität geringere Potenziale zugesprochen und die Industrie behandelt das Thema Wasserstoff noch sehr abwartend, da in vielen Bereichen noch Unklarheit über die effektivste Alternative zu fossilen Energieträgern herrscht.

Die europäische Wasserstoffökonomie entwickelt sich zögerlich aufgrund mangelnder energiewirtschaftlich relevanter Bedarfsmengen und entsprechend hohen Produktionskosten.

In Bezug auf Tankprotokolle und Sicherheitsfragen zur Wasserstoffmobilität wurde Ende 2023 die österreichische Richtlinie ÖVGW H510 zur Planung, Herstellung, Errichtung und Erstprüfung von Wasserstoff-Betankungsanlagen veröffentlicht.

Weiters erfolgte ein Austausch mit anderen (inter)nationalen Projekten und mit der Hydrogen Partnership Austria, die Sichtung von rahmenpolitischen Ergebnissen für Transitzkorridore und TEN-T Aspekte und die Teilnahme an ÖVGW Regelmeetings und Webinaren zum Thema Wasserstoff.

AP3 Aufbau nachhaltiger Geschäftsmodelle, Business Ecosystem (VTG)

Task 3.1 Rechtliche und organisatorische Fragestellungen für eine Beschaffungsplattform

Im gemeinsamen Austausch mit mehreren Verkehrsbetrieben aus dem alpinen Raum Tirol und Vorarlberg wurden organisatorische und rechtliche Fragestellungen für eine Beschaffungsplattform bearbeitet. Dabei wurden strategische und operative Aufgabenstellungen, Finanzierungs- und Strukturmodelle erörtert. Weiterführende Recherchen wurden durchgeführt, um die Ergebnisse in einem entsprechenden Bericht zu rechtlichen und organisatorischen Rahmenbedingungen zusammenzufassen.

Die Idee einer Beschaffungsplattform für FCE-Busse wurde nicht weitergeführt, da im Rahmen von H2Alpin eine FCE-Busbeschaffung nicht umsetzbar war.

Als Vorbereitung für eine mögliche spätere Fahrzeugbereitstellung wurde seitens der IVB eine Softwarelösung zum Management des Fahrzeugpools entwickelt. Dabei wurden u.a. Serverinfrastruktur, Lokalisierung von Fahrzeugen, Kalenderfunktionalität, Weblösung für Fahrzeugreservierungen, Garagierung, Schnittstellen und Infotables konzipiert, entwickelt bzw. umgesetzt und im Anschluss optimiert.

Task 3.2 Wirtschaftlichkeitsberechnungen für eine Beschaffungsplattform

TCO-Berechnungen für FCE-Trucks wurden durchgeführt und Prozesse für Einzelzulassung von Sattelzügen mit Überlänge und Maintenance und Aftersales für FCE-Trucks entwickelt. Ein Vermietungs-Modell für die Vermietung des FCE LKW u.a. an MPREIS wurde ausgearbeitet. Die JuVe AutoMotion bildet die Schnittstelle zwischen Hersteller:innen und Nutzer:innen von FCETs und stellt mit den damit verbundenen Aufgaben (Aftersales, Service, Garantie, Risikoübernahme, Finanzierungsleistungen, rechtliche und organisatorische Maßnahmen etc.) eine „Beschaffungsplattform“ dar. Das Werkstättenpersonal des Partnerunternehmens für Serviceleistungen wurde von FEN gemeinsam mit den Herstellerfirmen geschult. Diverse Varianten eines Pay-per-use Modells wurden von JuVe erarbeitet und durchgespielt. Der Einsatz von FC-Fahrzeugen im Rahmen dieser Modelle ist derzeit (2025) jedoch nicht wirtschaftlich darstellbar. Preise liegen um Faktoren (Faktor 2 bis 4) höher als bei entsprechenden Dieselfahrzeugen oder batteriebetriebenen Fahrzeugen. Auch mithilfe einschlägiger Förderprogramme wie z.B. ENIN konnte kein weiteres Fahrzeug realisiert werden aufgrund von darin vorgegebenen Einschränkungen u.a. in Vermiet- und Pay-per-use-Modellen, sowie der Bevorzugung von batteriebetriebenen LKW. Generell ist hier festzuhalten, dass auch das Bemaßungssystem des LKW-Verkehrs in Österreich alternative Antriebe nur sehr eingeschränkt gegenüber Verbrennermotoren begünstigt.

Task 3.3 Entwicklung von H2-Kommerzialisierungsmodellen

Allgemeine Modelle wurden im Rahmen des Projekts WIVA P&G HyWest erstellt und gerechnet, für Kommerzialisierungsmodelle im Bereich der H2-Mobilität gab es bei der TIWAG keinen Anwendungsfall. Die für die Planung und Bewertung von Energiesystemen ausgelegte Optimierungssoftware *Edgar* wurde in den Varianten *HRS* und *HyPro* im Rahmen von H2Alpin geprüft und beurteilt. Die Möglichkeit der Einbindung sämtlicher Systemkomponenten wie z.B. Elektrolyse, Speicherung und Abfüllstation erlaubte die Simulation von Gestehungskosten. Somit kann die Software eine funktionelle Unterstützung in Leistungsphasen der Machbarkeitsstudie, Grundlagenermittlung und Vorplanung in Projekten darstellen.

Task 3.4 Ökonomische und ökologische Gesamtbewertung

Die Betrachtung der Herausforderungen bei der Entstehung von Business Ecosystemen bei technologisch sowie politisch hoher Unsicherheit war Inhalt einer longitudinalen Studie. Dazu erfolgte eine gestaffelte Datenerhebung zu den Wahrnehmungen der Projektteilnehmer:innen bezüglich der Ecosystem-Entwicklung. Die empirischen Ergebnisse wurden zur Ecosystem-Governance in theoretische Modelle integriert und davon Erfolgsfaktoren und Risiken für die frühe Entstehungsphase von Innovationsökosystemen abgeleitet.

Zu ökologischen Gesichtspunkten wurde eine Lebenszyklusanalyse (Ökobilanz, LCA) von Null-Emissionsfahrzeugen im alpinen Kontext basierend auf Sekundärdaten durchgeführt. Dabei wurden Szenarien für alpine Steigungsfahrten berücksichtigt und der Fokus auf die Wirkungskategorien Klimawandel (Ausstoß an

CO₂-Äquivalenten) und Primärenergiebedarf gelegt. In Vergleichsszenarien wurden verschiedene Antriebstechnologien (FCEV, BEV, Diesel) und Energiequellen (Wasserkraft, erneuerbarer und aktueller Energiemix) gegenübergestellt. Die LCA zeigte dabei klare Vorteile für BEVs auf, was u.a. der höheren Energieeffizienz der BEVs zugeschrieben werden kann.

AP4 Vorbereitung der Demonstrationsphase (SAT)

Task 4.1 Demonstrationsanlagen für den ÖPNV

FCE-Busherstellern wurden kontaktiert und verfügbare Busmodelle für die Strecken der Postbus AG in Tirol evaluiert. Mit einem Testbus von Solaris wurde die Strecke zum Stubai Gletscher befahren, jedoch konnte der Bus die Steigungsstrecke aufgrund einer zu kleinen Brennstoffzelle nicht meistern. In Kooperation mit dem Projekt „HyBus Implementation“ wurden Testfahrten mit einem Hyundai Elec City FC durchgeführt. Dabei wurden die anspruchsvollen Bergstrecken Innsbruck-Kühtai und Innsbruck-Zirl-Seefeld befahren. Für Postbus stellte dabei der fehlende Retarder, der als zusätzliche Bremse fungiert, ein zu hohes Sicherheitsrisiko dar. Nachdem keine geeigneten Fahrzeuge für eine langfristige Demonstration gefunden werden konnten, wurde die Anschaffung von Infrastrukturanlagen nicht umgesetzt. Als Ersatz fanden kurze Testeinsätze von FCEBs verschiedener Herstellerfirmen statt. Gegen Ende der Projektlaufzeit konnte ein FCE-Bus der neuen Generation von MCV mit einer größeren Brennstoffzelle und größeren Pufferbatterie getestet werden. Auf einer Testfahrt nach Kühtai hat der Bus gezeigt, dass mit der nötigen Ausstattung auch FCEBs den Anforderungen von alpinen Bergstrecken gewachsen sind.

Die für die Testeinsätze erforderliche H₂-Betankungs-Infrastruktur wurde über WIVA P&G HyWest bei MPREIS realisiert.

Task 4.2 Beschaffung der vier LKWs

Bis September 2024 war eine FCE-Sattelzugmaschine von Hyzon (HyMax250) im Logistikbetrieb von MPREIS im Einsatz, was über eine Entwicklungspartnerschaft von JuVe und Hyzon im Rahmen des Projekts WIVA P&G HyWest umgesetzt wurde. Nachdem sich Hyzon vom europäischen Markt zurückgezogen hatte, wurde ein Ersatz-FCET von Hyundai, ein Xcient 6x2 Motorwagen, angeschafft. MPREIS entschied sich gegen die Anmietung weiterer FCETs, weshalb bis Projektende nur ein Hyundai Xcient im Realbetrieb erprobt werden konnte. Das Fahrzeug wurde im September 2024 an JuVe übergeben. Anschließend wurde der Kühlkofferaufbau von EMPL ergänzt, bevor der neue FCET mit 22. Mai 2025 bei der Kundin MPREIS in Betrieb ging. Die Versorgung mit grünem Wasserstoff erfolgte an der MPREIS Wasserstofftankstelle mit Wasserstoff aus eigener Elektrolyse. Fahrzeugservice und Reparaturarbeiten wurde in einer FCET-tauglichen Werkstätte eines Partnerunternehmens durchgeführt. Die Ersatzteilversorgung und Datensammlung wurde von JuVe koordiniert. Trotz sehr aktiver Bemühungen der JuVe GmbH konnten bisher aufgrund der bereits beschriebenen, mangelnden preislichen

Konkurrenzfähigkeit von grünem Wasserstoff neben MPREIS keine anderen Betreiber:innen/Kund:innen für FCETs gewonnen werden.

Task 4.3 Wasserstoff-Logistiksystem

Recherchen zu Tankprotokollen und Sicherheitsaspekten lieferten einen Überblick über bestehende Betankungsprotokolle für 350 bar bzw. 700 bar und Regulierungen und Normen zur Wasserstoffbetankung. Die Bereitstellung der entsprechenden Wasserstoff-Logistik für die Fahrzeuge wurde im Rahmen des Projektes WIVA P&G HyWest von FENR organisiert und von der assoziierten Projektpartnerin MPREIS zur Verfügung gestellt. Die notwendigen Tankprotokolle und Sicherheitsaspekte wurden hierfür für die jeweiligen Fahrzeuge in Kooperation mit JuVe bzw. den entsprechenden Fahrzeuglieferant:innen abgestimmt.

Task 4.4 Überwachung der Testläufe

Zu Projektbeginn wurde die Online-Monitoring-Datenplattform „Wassermanager.at“ um projektspezifische Anforderungen an die Datenerhebung weiterentwickelt. Im weiteren Projektverlauf wurden diese Arbeiten eingestellt, da die Testfahrzeuge werksseitig bereits über ausreichende automatisierte Auswerteroutinen verfügten und ein Vergleich von mehreren Fahrzeugen eines Typs mangels Beschaffung nicht umsetzbar war. Die Fahrdaten im Pilotbetrieb der FCETs wurden erfasst und durch Projektpartner MCI ausgewertet.

AP5 Begleitendes Monitoring (MCI)

Task 5.1 Technische Ergebnisse

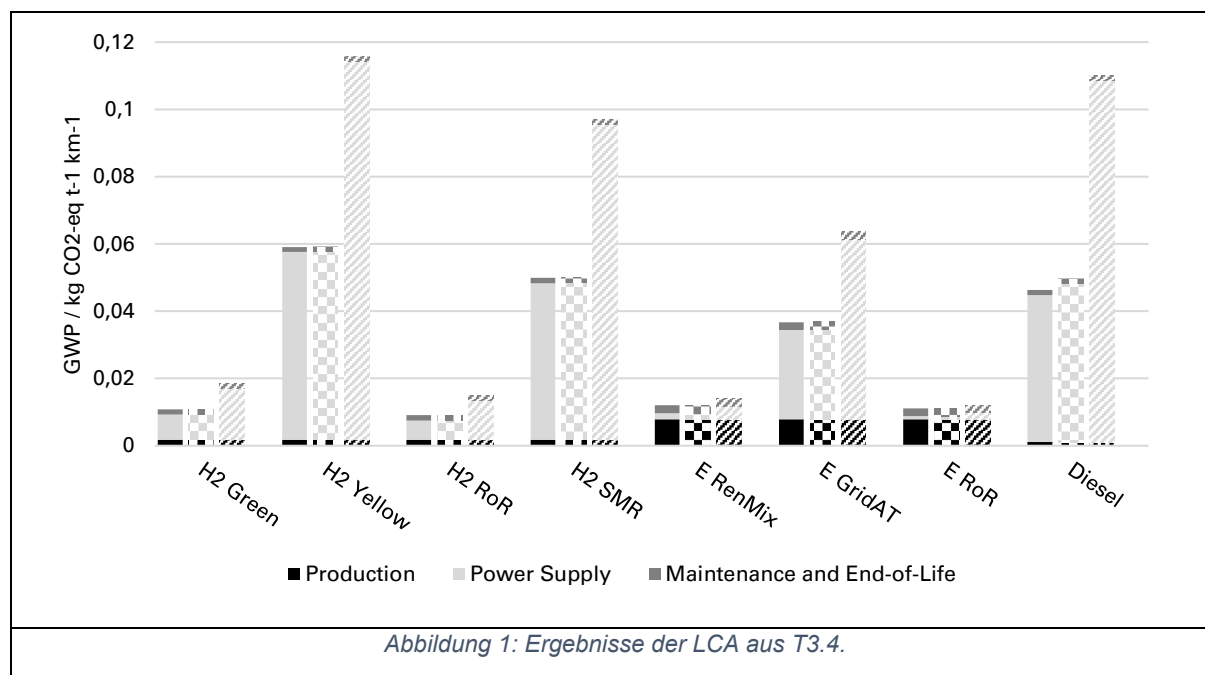
In Kooperation mit dem Projekt „HyBus Implementation“ aus demselben Förderprogramm Zero Emission Mobility Implementation wurden Testfahrten im alpinen Raum mit dem FCEB vom Typ Hyundai Elec City FC bereits im November 2022 durchgeführt. Das Monitoring für diesen Testeinsatz wurde mit GPS-Trackern bewerkstelligt, während Probleme mit der Schnittstelle zum CAN-Bus ungelöst blieben und somit das Auslesen weiterer Fahrdaten nicht möglich war.

Im Minutentakt aufgenommene Telemetriedaten des Testbetriebs des Hyzon-Fahrzeugs der JuVe der Jahre 2022-2024 wurden seitens JuVe an das MCI übermittelt. Über aufgenommene GPS-Daten war es möglich, auf zurückgelegte Routen und die Topografie zu schließen. Über aufgenommene Leistungsabnahmen und Füllstände der Wasserstofftanks wurde auf Verbrauchswerte zurückgeschlossen. Eine signifikante Aussage über das Verbrauchsverhalten der FCET bei spezifischen Steigungsprofilen war nicht möglich. Hier werden für zukünftige Testläufe Datenaufzeichnungen in Sekundenauflösungen empfohlen. Auch Daten zu den Testläufen des Hyundai FCET aus drei Monaten in 2025 wurden zur Verfügung gestellt. Diese lassen Rückschlüsse ausschließlich auf Gesamtverbräuche je Monat zu.

Task 5.2 Ökologische Auswertungen

Abbildung 1 zeigt die Ergebnisse der LCA für FCET. Zu sehen sind Ergebnisse für die drei Teststrecken (ebene Strecke - gefüllte Balken; Kufstein-Brenner -

Schachbrett; Innsbruck-Kühtai – schräg schraffiert) und verschiedene Energieträger aus unterschiedlichen Quellen.



Eine Erläuterung der Szenarien ist in Tabelle 2 zu sehen.

Tabelle 2: Szenarienbeschreibung LCA

Szenario	Energieträger Fahrzeug	Energieerzeugung
H2 Green	Wasserstoff	100 % Erneuerbarer Strom
H2 Yellow	Wasserstoff	Strommix Österreich
H2 RoR	Wasserstoff	Strom aus Laufwasserkraft
H2 SMR	Wasserstoff	Erdgas
E RenMix	Strom	100 % Erneuerbarer Strom
E GridAT	Strom	Strommix Österreich
E RoR	Strom	Strom aus Laufwasserkraft
Diesel	Diesel	Diesel

Während die Auswirkungen im Fall der Route Kufstein–Brennerpass nur geringfügig größer sind – da zwei Drittel der Strecke flach verlaufen und der anschließende Anstieg mäßig ist –, wird im Fall der Route Innsbruck–Kühtai ein deutlicher Anstieg der Umweltbelastungen beobachtet. Mit einer durchschnittlichen Steigung von 4 % und einer maximalen Steigung von bis zu 13,99 % steigt der Energiebedarf für die Leistungsbereitstellung stark an.

In Bezug auf unterschiedliche Antriebstechnologien wird der Bedarf an erneuerbarer Energie als Energiequelle hervorgehoben. Wird Strom aus dem öffentlichen Netz für die Strom- und Wasserstoffversorgung genutzt, liegen die

Treibhausgasemissionen von batterieelektrischen LKW und Brennstoffzellen-LKW sogar über denen von LKW mit Verbrennungsmotor. Wird hingegen erneuerbarer Strom verwendet, verringern sich sowohl der Treibhausgasausstoß und der Primärenergiebedarf deutlich. In der Nutzungsphase zeigen batterieelektrische Fahrzeuge insgesamt leicht geringere Auswirkungen als Brennstoffzellenfahrzeuge, wenn erneuerbare Energien eingesetzt werden. Allerdings schrumpft oder verschwindet der Vorteil der BET bei Verwendung erneuerbarer Energien, da die Emissionen aus der Fahrzeugproduktion dann einen größeren Anteil an den Gesamtauswirkungen ausmachen.

Die Ergebnisse zeigen, dass alpine Bedingungen die Umweltwirkungen des Schwerlastgüterverkehrs beeinflussen. BEV und FCEV bieten ein großes Potenzial zur Emissionsminderung auf alpinen Strecken durch höhere Energieeffizienz infolge der Rekuperation und durch die geringen Umweltbelastungen erneuerbarer Energien.

Beide FCET, die von JuVe betrieben wurden und werden, besitzen jeweils einen Kühlaufbau. Der Energieverbrauch für Kühlung bzw. Fahrzeugantrieb war aus den Daten nicht differenzierbar. Die Verbrauchsdaten, die in T5.1 in die LCA eingearbeitet wurden, sind demnach nur für FCET mit Kühlkofferaufbau relevant. In der gegenständlichen Betrachtung wurden aufgrund der ergiebigeren Datenlage ausschließlich Fahrzeuge ohne Kühlaufbau verglichen. Dies schränkt einen direkten Vergleich der Ergebnisse für FCET aus dem Realbetrieb mit Batterie- und Dieselfahrzeugen ein.

Task 5.3 Wirtschaftliche Auswertungen

Die Arbeiten des MCI führten zu einer vertieften wissenschaftlichen Auseinandersetzung mit der Frühphase von Innovationsökosystemen unter technologischer und politischer Unsicherheit.

Wesentliche Erkenntnisse sind:

- Die beteiligten Akteur:innen verfügten zu Projektbeginn über heterogene Vorstellungen von Zielen, Rollen und Governance-Strukturen.
- Das Verständnis des „Ecosystem“-Begriffs variierte stark; vielfach wurde das Konzept eher als Projektkooperationsrahmen denn als neues Geschäftsmodellverständnis interpretiert.
- Koordination und Rollenklärung erwiesen sich als kritische Erfolgsfaktoren für die Etablierung von Vertrauen und Kooperation. Die Untersuchung zeigt, dass frühe Ecosystem-Phasen von Rollenkonflikten und Machtasymmetrien geprägt sind, die gezielt moderiert werden müssen, um nachhaltige Wertschöpfungsnetzwerke aufzubauen.
- Die Ergebnisse belegen, dass Vertrauen, Kommunikationsqualität und gemeinsame Zieldefinition entscheidend für funktionierende Kooperationsstrukturen sind.

- Ohne physische Demonstratoren konnten wertschöpfungsorientierte Geschäftsmodelle nicht konkretisiert werden; dennoch ließen sich theoretische Erfolgsfaktoren für Ökosystem-Governance ableiten, z. B. die Entstehung struktureller und organisationaler Lernprozesse im Konsortium.

Diese Ergebnisse leisten einen signifikanten Beitrag zum Verständnis von Ecosystem-Entstehungsprozessen in hochregulierten, technologiegetriebenen Kontexten und bilden eine konzeptionelle Basis für künftige Projekte mit praktischer Implementierungskomponente.

Task 5.4 Gesamtbetrachtung

Aufgrund des reduzierten Projektumfangs ist keine holistische Beurteilung zum Einsatz von Wasserstoff-Schwerlast-Fahrzeugen möglich. Mit Einschränkungen lassen sich allerdings einige generelle Aussagen treffen:

- Die eingesetzten und über längeren Zeitraum gemessenen Schwerlastfahrzeuge wurden kaum in alpinem Gelände eingesetzt. Erst im letzten Projektjahr wurden Fahrzeuge (Hyundai Xcient FCET, MCV Bus) getestet, die tatsächlich in alpinem Gelände gefahren wurden und dafür tauglich erscheinen. Eine langfristige Untersuchung zur Tauglichkeit steht aus.
- Potenziale zur Effizienzsteigerung des H₂-Verbrauchs bestehen in Routenplanung und dem Zusammenspiel zwischen Brennstoffzelle und Pufferbatterie.
- Eine ganzheitliche Flottenumstellung auf Wasserstoff kann derzeit aufgrund diverser Hürden nicht wirtschaftlich umgesetzt werden.
- Eine ökologisch vorteilhafte Umsetzung von Wasserstoffschwerlastmobilität gelingt nur unter Einsatz von grünem Wasserstoff. Unter Einsatz von grauem Wasserstoff oder Wasserstoff aus Netzstrom (gelb) ist H₂ nicht oder nur marginal besser als konventionelle Diesel-LKW.

Fahrten in alpinem Gelände senken die ökologische Performance der Fahrzeuge aufgrund höherer Energieverbräuche. Der Vorteil nachhaltiger Energieträger (Strom, Wasserstoff) im Vergleich zu Dieselfahrzeugen vergrößert sich allerdings durch deren effizienteren Energieeinsatz.

AP6 Demonstrationsphase (JuVe)

Task 6.1 Sicherstellung der Wasserstoffbelieferung

Die Sicherstellung der Wasserstoffbelieferung und Abstimmung der H₂-Produktion erfolgte in Abstimmung mit dem Projekt WIVA P&G HyWest gemäß den Ausführungen in T4.3.

Im Jahr 2025 wurde die kontinuierliche Nutzung von MEGCs (Multi Element Gas Container) zur Versorgung verschiedener Anwendungsfälle mit grünem

Wasserstoff sichergestellt. Die Belieferung erfolgte mittels Wasserstoff-Trailern, die eine flexible und bedarfsgerechte Versorgung ermöglichten.

Task 6.2 Testläufe von FCE-Bussen

Es wurde Kontakt mit verschiedenen FCE-Bus-Herstellerfirmen aufgenommen, um laufende Produktentwicklungen für mögliche Testeinsätze von FCE-Bus-Modellen zu verfolgen. Dennoch konnten in der Projektlaufzeit keine langfristigen Testläufe von Brennstoffzellen-Bussen realisiert werden, da keine geeigneten Fahrzeuge für einen langfristigen Test verfügbar waren.

Am 13. November 2025 fand eine Testfahrt mit dem neuen Wasserstoff-Überlandbus des ägyptischen Herstellers Manufacturing Commercial Vehicles (MCV) statt. Dieser 12 m lange FCEB absolvierte eine anspruchsvolle Testfahrt von Kematen über Praxmar hinauf nach Kühtai, weiter ins Ötztal und wieder retour. Die Betankung erfolgte an der Schwerlast-HRS bei MPREIS in Völs in Kooperation mit WIVA P&G HyWest.

Der MCV Brennstoffzellen-Bus weist das gleiche Chassis wie sein batterie-elektrisches Pendant auf. Fahrwerk und Karosserie des Brennstoffzellen-Busses sind baugleich mit denen batterie-elektrischer Busse des Unternehmens und somit austauschbar. Die Fahrzeugtechnik (H₂-Tanks, Brennstoffzelle, Batterie) ist im Dachaufbau integriert. Das entwickelte Baukastensystem der Fa. MCV reduziert damit die Variantenvielfalt und erleichtert die Ersatzteilkhaltung – auch unter wirtschaftlichen Aspekten. Dadurch, dass für Brennstoffzellen-Busse und rein batteriebasiert angetriebene Busse die gleiche Infrastruktur für die Wartung verwendet werden kann, ergeben sich auch logistisch und ökonomisch Vorteile. Die Nachfrageseite kann demnach nach rein betriebswirtschaftlichen Überlegungen die Auswahl zwischen Brennstoffzellen- und Batterie-Antrieb wählen.

Auf der Teststrecke Kematen – Kühtai – Ötz – Kühtai – Kematen (rund 130 km und 2.600 Höhenmeter) sorgte ein elektrischer Zentrilmotor mit einer Spitzenleistung von 410 kW (300 kW Dauerleistung) für ein zügiges Vorankommen auf Landstraßen und ausreichend Reserven am Berg (s. Abbildung 2).





Abbildung 2: Eindrücke der MCV-Testfahrt am 13.11.2025.

Dank einer vergleichsweise großen Batterie mit rund 100 kWh, einer Brennstoffzelle mit 100 kW Leistung (Ballard Power Systems) und Wasserstoff-Tanks mit einem Fassungsvermögen von rund 40 kg Wasserstoff weist der Bus laut Herstellfirma eine Reichweite von 600 bis 700 km auf. Damit eignet sich der Bus besonders für die „Elektrifizierung“ von Strecken, an denen es keine Infrastruktur zum Nachladen gibt, sowie für Linien mit langen Betriebs- und kurzen Standzeiten. Im realen Testbetrieb „genehmigte“ sich der Bus bei geringer Beladung rund 7 kg H₂/100 km. Damit ergibt sich eine rechnerische Reichweite von etwa 570 km. Die Rekuperation war deutlich spürbar (ca. 40 kWh Rückgewinnung auf der Talfahrt), konventionelles Bremsen war kaum nötig. Das Fahrzeug überzeugte mit stabilem Fahrverhalten und ausreichenden Leistungsreserven auch auf steilen Abschnitten. Die Brennstoffzelle arbeitete während der gesamten Testfahrt nicht im Grenzbereich.

Auch die Straßenlage überzeugte: Trotz der vollständig am Dach verbauten Technik – Tanks, Klimaanlage, Brennstoffzelle – zeigte der Prototyp ein sehr stabiles Fahrverhalten.

Insgesamt waren die Fahr- und Effizienz-Eindrücke positiv und vielversprechend, mit zusätzlichem Potenzial durch mögliche Feinabstimmung des Fahrzeugs auf das Streckenprofil.

Task 6.3 Einsatz der FCETs bei Pilotkund:innen

Von Februar 2023 bis September 2024 war ein Hyzon HyMax205 FCET bei MPREIS Warenvertriebs GmbH in der Logistikflotte zur Belieferung der Lebensmittelmärkte in Nordtirol in Betrieb. Dieser wurde von JuVe und dem Hersteller Hyzon in einer Entwicklungspartnerschaft betrieben. Der FCET erhielt ein Vorserien-Update, was zu einer Verbesserung in Wartbarkeit und Verfügbarkeit des Fahrzeugs führte. Allerdings blieb das grundlegende Design-Problem der fehlenden, aktiven Batteriekühlung weiter bestehen und führte bei starken Steigungen und heißen Sommertagen zur Überhitzung des Batterie-Stacks, was zu dessen Abschaltung führte. Nachdem Hyzon seinen Rückzug vom europäischen Markt bekanntgab, wurde der bereits bestellte zweite Hyzon FCET storniert und die sich bereits in

Betrieb befindliche FCE-Sattelzugmaschine an Hyzon zurückgegeben. Bemühungen von JuVe um eine Alternative ergaben letztendlich einen Zuschlag für Hyundai zur Beschaffung eines FCET Xcient 6x2 Motorwagen, ein Modell, das in der Schweiz bereits erfolgreich vermarktet worden war. Die Pilotkundin MPREIS verzichtete nach dem unvorhergesehenen Herstellerwechsel allerdings zunächst auf die Anmietung weiterer FCETs. Der Hyundai Xcient erhielt von der Firma EMPL einen eigens für den Wasserstoffantrieb konzipierten Kühlkofferaufbau (s. Abbildung 3), mit dem das Fahrzeug am 22.05.2025 den regulären Betrieb in der MPREIS-Flotte aufgenommen hat.



Abbildung 3: Hyundai Xcient 6x2 mit Kühlkofferaufbau von EMPL.

Während MPREIS das Fahrzeug mietete, trug JuVe das Technologierisiko. Für die Lenker:innen wurden sowohl für den Hyzon als auch den Hyundai FCET Schulungen abgehalten und auch das Werkstättenpersonal der lokalen Servicepartnerin Auer GmbH wurde für die neue Technologie unterwiesen und entsprechend zertifiziert.

Der FCEV Lkw wird im Rahmen eines realen Betriebsumfeldes getestet, um wertvolle Erfahrungen zu sammeln und die Technologie weiter zu optimieren.

Mit einer Reichweite von etwa 400 km pro Tankfüllung und einem Wasserstoffbedarf von 7,5 kgH₂ pro 100 km kann der Großteil der österreichischen Transportstrecken bewerkstelligt werden. Die Betriebserfahrungen mit dem Hyundai XCient belegen die Praxistauglichkeit und Zuverlässigkeit des Fahrzeugs.

Die Einführung des ersten FCETs in Österreich ist ein bedeutender Schritt hin zu einer grüneren, nachhaltigeren Logistikbranche. Die Erfahrungen aus dem Betrieb und die gesammelten Daten werden Hyundai und den Partner:innen in Österreich helfen, die Technologie weiterzuentwickeln. In den kommenden Jahren ist aus heutiger Sicht mit einer zunehmenden Verbreitung von FCEV-Lkw zu rechnen, da

immer mehr Unternehmen den Vorteil der emissionsfreien Logistiklösungen erkennen und die Technologie in ihren Fuhrpark integrieren werden.

Task 6.4 Beschaffungsplattform für Busse und LKWs

Die Umsetzung einer Beschaffungsplattform für Busse wurde vom Konsortium aufgegeben und nicht weiter implementiert.

Die analogen Aufgaben für die Beschaffung von FCETs ist Teil des Geschäftsmodells der Konsortialpartnerin JuVe AutoMotion. Die JuVe hat gemeinsam mit den Konsortialpartner:innen am Ausbau der Beschaffungskompetenzen gearbeitet. Die Aufgaben und Leistungen der JuVe umfassen den Kontakt mit Hersteller:innen lieferbarer FCETs, ständiger Leistungs- und Preisvergleich, Datensammlung und Schnittstellenbetreuung, After-Sales-Services, Ersatzteilversorgung, sowie das Durchführen von Softwareupgrades und Versionswechsel der Fahrzeuge. Es ist gelungen, den ersten Hyundai FCET, einen Xcient 6x2 Motorwagen, in Österreich anzuschaffen und in der Flotte der JuVe-Kundin MPREIS einzusetzen.

AP7 Dissemination und Roll-out Vorbereitung (SAT)

Task 7.1 Kommunikationsplan

Der Kommunikationsplan wurde zu Projektbeginn erarbeitet und vonseiten der Standortagentur (SAT) wurden verschiedene Kommunikationsaktivitäten veranstaltet. H2Alpin wurde entsprechend auf der neu installierten Website der SAT¹ vorgestellt. Ein Austausch zu Projektinformationen fand im Zuge anderer Projektaktivitäten (z.B. Projekt Interreg Alpine Space „AMETHyST“), mit den teilnehmenden Projektpartner:innen aus dem Alpenraum statt.

Task 7.2 Umsetzung des Kommunikationsplans

Im Oktober 2025 fand das Abschlussmeeting zum Interreg Alpine Space Projekt „AMETHyST“ in Grenoble statt, bei dem die Projekte WIVA P&G HyWest und H2Alpin vorgestellt wurden. Im Dezember 2025 wurden die Projektergebnisse in dem Wirtschaftsmagazin ECONOVA veröffentlicht. Auf der Homepage der SAT sind zudem Informationen zum Projekt abrufbar. Auf den Webseiten anderer Forschungsprojekte wie AMETHyST und WIVA P&G HyWest wurde auf Projekthinhalte von H2Alpin in Beiträgen verwiesen. H2Alpin ist auch als Projekt auf der Website „skHyline“² angeführt.

Task 7.3 Strategischer Output

Situationserfassung

Die eigene Abteilung für Wasserstoff-Koordination in Tirol wurde über eine Beteiligung an der nationalen Wasserstoff-Plattform Hydrogen Partnership Austria (HyPa) in Kooperation mit der Österreichischen Energieagentur AEA realisiert.

¹ <https://www.standort-tirol.at/projekte/details/33578>

² <https://skhyline.eu/hydrogen-projects/>

Hierzu wurde die Vorläuferorganisation Hydrogen Austria mit der Partnerorganisation H2 Austria vereint. Ziel der Organisation ist die Unterstützung bei der Umsetzung der nationalen Wasserstoffstrategie. Die Clusteraktivitäten der HyPA wurden hierbei durch die Standortagentur Tirol geleitet. Zur Jahreshälfte 2025 wurde der Clusterbereich beendet, die gesamten Plattformaktivitäten der Hydrogen Partnership Austria werden nun durch die AEA in Wien bereitgestellt.

Energiestrategischer Output

Die Erkenntnisse des vorliegenden Projekts fließen direkt in die strategischen Überlegungen des Landes Tirol zur Erlangung der Energieautonomie bis zum Jahr 2050 ein.

Das seitens Energieagentur Tirol, Universität Innsbruck und Management Center Innsbruck wiederkehrend aktualisierte „Energie-Zielszenario Tirol 2050“ enthält Zielpfade zur Zielerreichung und benennt und quantifiziert die einzusetzenden Technologien in den Bereichen Gebäude, Produktion und Mobilität. In Kürze soll das Energie-Zielszenario Tirol 2050 auf Basis des aktuellen Zustands des Tiroler Energiesystems überarbeitet werden, wobei einerseits die aktuell geltenden rechtlichen Rahmenbedingungen, andererseits die erwarteten Rahmenbedingungen sowie die erwarteten energiesystemrelevanten Entwicklungen von eingesetzten Energieträgern und Energieerzeugungs- und -umwandlungsanlagen möglichst realitätsnah berücksichtigt werden. Damit werden auch die Ergebnisse und Erkenntnisse des vorliegenden Projektes (u.a. Verfügbarkeit und Einsetzbarkeit von Fahrzeugen, Anzahl von Brennstoffzellenfahrzeugen und Laufleistungen) unmittelbar in die anstehende Bearbeitung einfließen und helfen, den Einsatz und die Nutzung von Wasserstoff im Lkw- und Bus-Bereich in den nächsten Jahren realistisch einzuschätzen.

Projektspezifischer Output

Am 13.11.2025 wurde ein 12 m FCE-Low-Entry von MCV auf der alpinen Route Kematen–Praxmar–Kühtai–Ötz und retour getestet und zeigte, dass dieser grundsätzlich bergtauglich ist. Mit 100 kW Ballard-Brennstoffzelle, 100 kWh Pufferbatterie und 410 kW E-Motor bewältigte er Steigungen und Anfahren problemlos, Rekuperation und Fahrverhalten überzeugten.

Die Erfahrungen der vergangenen Jahre zeigen, dass der Markthochlauf und die Durchdringung der Bestandsflotte durch Brennstoffzellen-Busse und auch -Lkw wesentlich langsamer verlaufen ist als noch vor wenigen Jahren angenommen. Dies hat vor allem zwei Gründe.

Einerseits kommt der Infrastrukturaufbau in Österreich nicht in Gang. In Tirol beispielsweise existiert lediglich eine firmeneigene, öffentlich nicht zugängliche Wasserstoff-Tankstelle für Lkw und Busse (350 bar), die Pläne einer projektierten in Kufstein/Langkampfen wurde zwischenzeitlich „auf Eis gelegt“. Die 2015 in Innsbruck in Betrieb genommene öffentlich zugängliche Wasserstofftankstelle wurde mit 30.09.2025 geschlossen – so wie auch alle anderen OMV-Wasserstoff-Tankstellen für Pkw (700 bar) in Österreich.

Andererseits fehlt es an marktreifen, in Österreich verfügbaren Modellen. Im Zuge des gegenständlichen Projekts war ursprünglich geplant, mehrere Lkw- und Bus-Modelle im Realbetrieb auf bergigen Strecken miteinander zu vergleichen. Die Realität hat gezeigt, dass hierfür seitens der Anbieterfirmen keine Modelle zur Verfügung gestellt werden konnten, die den – auch rechtlichen – Anforderungen genügt hätten. Dies ist auch im Zusammenhang mit den Entwicklungen im rein batteriebasierten Antrieb bei Pkw, Lkw und Bussen zu sehen. Der ursprüngliche große Vorteil der Brennstoffzellentechnologie (Lade- bzw. Tankzeiten, Reichweite) wurde in den vergangenen Jahren durch die Entwicklungen beim reinen batteriebasierten Antrieb deutlich reduziert (Reichweiten, Ladezeiten, Megacharger).

Letztlich wird der Markt anhand von Wirtschaftlichkeit und Betriebserfahrungen entscheiden, welche Antriebsform sich für welche Anwendungen durchsetzen wird.

Masterplan Wasserstoffmobilität Tirol

- Zielbild

Tirol verfolgt im Rahmen von TIROL 2050 energieautonom eine fossilfreie Mobilität. Wasserstoff wird dabei gemäß Energie-Zielszenario Tirol 2050 (2024)³ ein wichtiger Energieträger für Schwerverkehr, Busse und industrielle Anwendungen, wo batterie-elektrische Lösungen an Grenzen stoßen. Ziel ist, den Bedarf bis 2050 vollständig durch regional erzeugten grünen Wasserstoff zu decken und so Versorgungssicherheit und Wertschöpfung im Land zu stärken.

- Wasserstoff-Gewinnung

Gemäß Energie-Zielszenario Tirol 2050 (2024) soll die Wasserstoffherzeugung schrittweise auf rund 750 GWh pro Jahr ausgebaut werden. Dies könnte durch etwa 50 Elektrolyseure mit je 3 MW Leistung erfolgen.

Gemäß Energie-Zielszenario Tirol 2050 (2024) soll die Wasserstoff-Erzeugung vorrangig an Standorten mit erneuerbarer Stromversorgung und industrieller Abwärme erfolgen. Die Erzeugung könnte beispielsweise durch PEM- und alkalische Elektrolyseure erfolgen, mittelfristig ergänzt durch Hochtemperaturverfahren (SOEL). Die Produktion soll zugleich als flexible Last im Stromnetz dienen und Überschussenergie aus Photovoltaik und Wasserkraft nutzen.

- Wasserstoff Infrastruktur

Gemäß Energie-Zielszenario Tirol 2050 (2024) wird eine dezentrale Struktur mit regionalen Produktionsinseln, kurzen Transportwegen und zentralen H₂-Hubs angestrebt; der Wasserstoff soll in Druckspeichern gelagert werden. Für die Verteilung von reinem Wasserstoff über Gasnetze sind Anpassungen der Infrastruktur notwendig, um Diffusionsverlusten entgegenzuwirken. Dahingegen

³

https://www.tirol.gv.at/fileadmin/themen/umwelt/wasser_wasserrecht/Downloads/Downloads_neu/24-07-05_Zielszenario-Aktualisierung-2024_final_inkl_Flussbild.pdf

wären bereits 99 % der Pipelines in Tirol für den Wasserstoff-Transport via Beimischung von Wasserstoff zum bestehenden Gas in den Pipelines (Wasserstoff-Blending) nutzbar. Parallel dazu soll ein AFIR-konformes Tank- und Logistiknetz bis 2030 entstehen.⁴ Dies soll zumindest eine öffentlich zugängliche H₂-Tankstelle entlang des Skandinavien-Mittelmeer TEN-T-Korridors in unmittelbarer Nähe von Innsbruck (Urban Node) mit folgenden Mindestanforderungen umfassen:

- Kapazität von > 1 Tonne H₂ pro Tag
- mit 350 bar und 700 bar Dispensern

Die Landesplanung priorisiert gemäß Energie-Zielszenario Tirol 2050 (2024) zusätzlich Synergien mit industrieller Nutzung und Power-to-Gas-Prozessen, die die Wirtschaftlichkeit erhöhen.

- Umsetzung und Roll-out

Gemäß Energie-Zielszenario Tirol 2050 (2024) werden bis 2030 vermehrt Pilotprojekte mit kommunalen Flotten und Logistikbetrieben erwartet. Ab 2030 soll der Ausbau regionaler H₂-Hubs und die schrittweise Integration in den Güterverkehr erfolgen. Ab 2040 wird ein flächendeckender Roll-out angestrebt. Dabei wird von einer Umstellung des Schwerverkehrs auf emissionsfreie Antriebstechnologien mit 70 % direkter Stromnutzung und 30 % Wasserstoff-Brennstoffzellentechnologie ausgegangen.

- Rahmenbedingungen

Aus heutiger Sicht könnten folgende Anpassungen einen Markthochlauf unterstützen: Steuererleichterungen und Mautbefreiungen für H₂-Fahrzeuge, vereinfachte Genehmigungsverfahren für Elektrolyse und Infrastruktur sowie Investitionsförderungen für Produktion und Speicher. Ein Landeskoordinationsgremium könnte den Prozess steuern und die Rückkoppelung mit Energie- und Verkehrspolitik sicherstellen.

Task 7.4 Wissenschaftliche Dissemination

Seitens MCI wurden die erarbeiteten Ergebnisse auf zwei Konferenzen präsentiert. Im Juni 2023 wurde auf der ISPIM Innovation Conference in Ljubljana, Slowenien, ein Conference Paper samt Vortrag unter dem Titel „Ecosystem Emergence Facing Technological and Political Uncertainty: A Longitudinal Perspective“ präsentiert (ISBN 978-952-65069-3-7).

Die Ergebnisse der LCA wurden auf dem „Mini-Symposium Verfahrenstechnik“ im Juli 2025 in Innsbruck vorgestellt. Das MSV ist eine jährlich stattfindende Konferenz Österreichischer Hochschulen auf dem Gebiet der Verfahrenstechnik, darunter u.a. die TU Graz, TU Wien, Montanuniversität Leoben, BOKU, JKU Linz und die HS Kempten. In Diskussionen und Vorträgen wurden die Ergebnisse mit

⁴ Verordnung (EU) 2023/1804 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 13. September 2023 über den Aufbau der Infrastruktur für alternative Kraftstoffe und zur Aufhebung der Richtlinie 2014/94/EU (Text von Bedeutung für den EWR) (AFIR)

Teilnehmer:innen auf wissenschaftlicher Basis diskutiert. Ein Tagungsband mit Peer-Reviewed Abstracts wurde veröffentlicht (ISBN 978-3-200-10576-8), darunter auch der Beitrag seitens MCI mit dem Titel „Lifecycle Greenhouse Gas Emissions and Energy Efficiency of Fuel Cell Electric Trucks in Alpine Applications“⁵.

Weiters wurden am MCI insgesamt neun Abschlussarbeiten (vier Bachelorarbeiten, fünf Masterarbeiten) durchgeführt, die den Tätigkeiten in H2Alpin zugerechnet werden können. Diese flossen in die Arbeitspakete 2, 3 und 5 ein.

Seitens der wissenschaftlichen Partner:innen ist geplant, die Ergebnisse aus H2Alpin in Forschung und Lehre weiter zu nutzen.

5 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Im Projekt H2Alpin wurden der Demonstrationsbetrieb eines FCE-LKWs und Testeinsätze von FCE-Bussen verschiedener Herstellerfirmen im alpinen Raum vorbereitet, umgesetzt und wissenschaftlich begleitet. Es konnten dabei Erfahrungen in Bezug auf Beschaffungsprozesse, Wartung und Betrieb von FCETs gewonnen, technische Anforderungen an FCEBs im ÖPNV identifiziert und die dafür notwendige Wasserstoffinfrastruktur in Kooperation mit WIVA P&G HyWest bereitgestellt werden.

Technische Ergebnisse (FCEB & FCET im alpinen Raum)

- Der Demonstrationsbetrieb eines Fuel Cell Electric Trucks (FCET) im realen Logistikeinsatz (MPREIS) konnte erfolgreich umgesetzt werden. Das Fahrzeug wurde voll in den täglichen Betrieb integriert, inklusive Service-, Wartungs- und Dateninfrastruktur.
- Für Fuel Cell Electric Buses (FCEB) zeigte sich über weite Teile der Projektlaufzeit, dass marktverfügbare Modelle den alpinen Anforderungen nicht genügten (Steigungen, Rekuperation, Bremssysteme, Sicherheitsanforderungen).
- Erst gegen Projektende konnte mit einer neuen Busgeneration (MCV-Prototyp) nachgewiesen werden, dass prinzipiell alpintaugliche FCE-Busse technisch realisierbar sind, allerdings nur bei streckenspezifischer Auslegung (Brennstoffzellenleistung, Batteriekapazität, Energiemanagement).

Wirtschaftliche und organisatorische Ergebnisse

- Die Beschaffungsplattform für FCETs (JuVe AutoMotion) wurde operativ etabliert (Aftersales, Werkstatt, OEM-Schnittstellen).

⁵ Download:

https://www.mci.edu/phocadownload/allgemein/Forschung/Veranstaltungen/2025/Book_of_Abstacts_Symposium-VT-2025.pdf

- Für FCEBs konnte zwar keine Beschaffung umgesetzt werden, jedoch wurden rechtliche Grundlagen, Softwarelösungen und Betriebshof-Managementsysteme entwickelt, die künftig nutzbar sind.
- Pay-per-use- und Mietmodelle wurden konzeptionell ausgearbeitet, sind unter den aktuellen Rahmenbedingungen jedoch nicht wirtschaftlich darstellbar.

Ergebnisse zu Wasserstofflogistik und Infrastruktur

- Die H₂-Versorgung für Demonstrationszwecke konnte über bestehende bzw. projektnahe Infrastruktur (insb. MPREIS/WIVA P&G HyWest) sichergestellt werden.
- Szenarienanalysen zeigen, dass der Wasserstoffbedarf in der Mobilität geringer ausfällt als ursprünglich angenommen, insbesondere im Vergleich zu batterieelektrischen Lösungen.

Ergebnisse der ökologischen Bewertung

- Die durchgeführten Lebenszyklusanalysen (LCA) zeigen:
 - Vorteile für FCEV bestehen unter spezifischen Randbedingungen.
 - Im alpinen Einsatz relativiert sich dieser Vorteil aufgrund des höheren Energiebedarfs, wodurch BEV häufig ökologisch günstiger abschneiden.

Schlussfolgerungen

1. *Wasserstoffmobilität ist im alpinen Raum technisch möglich, aber stark use-case-abhängig.*

FCETs sind derzeit weiter entwickelt und robuster als FCEBs für alpine Anwendungen.

2. *Der Markthochlauf wird nicht durch Technik, sondern durch Rahmenbedingungen begrenzt.*

Fehlende Infrastruktur, hohe OPEX und nicht technologieoffene Förderinstrumente verhindern einen breiten Einsatz.

3. *Brennstoffzelle ist keine Universallösung für den Verkehrssektor.*

Die Projektergebnisse sprechen für einen selektiven Einsatz von Wasserstoff, insbesondere dort, wo batterieelektrische Lösungen an ihre Grenzen stoßen (schwere Lasten, lange Distanzen, hohe Verfügbarkeit).

4. *Beschaffungs- und Betriebsmodelle sind zentral, aber derzeit nicht tragfähig ohne Unterstützung.*

Ohne Risikoübernahme, OPEX-Förderung oder angepasste regulatorische Rahmenbedingungen sind wirtschaftliche Modelle nicht vorhanden.

5. *Die strategischen Erwartungen an Wasserstoff in der Mobilität müssen realistisch angepasst werden.*

Nationale und regionale Energieszenarien zeigen geringere Bedarfe gegenüber früheren Annahmen.

Empfehlungen

1. Fokus auf geeignete Einsatzbereiche („No-regret-Use-Cases“)

- Priorisierung von schweren Nutzfahrzeugen, Spezialfahrzeugen und alpinen Sonderanwendungen, bei denen BEV technisch oder betrieblich limitiert sind.

2. Anpassung der Förder- und Regulierungsinstrumente

- Einführung einer OPEX-Förderung bis zum Diesel-Äquivalent für FCETs.
- Technologieoffene Förderkriterien (keine strukturelle Bevorzugung von BEV gegenüber FCEV).
- Ermöglichung von Miet- und Pay-per-use-Modellen im Rahmen öffentlicher Förderprogramme.

3. Koordinierter Infrastrukturausbau

- Aufbau eines Mindestnetzes an H2-Tankstellen entlang zentraler Transit- und Logistikkorridore (AFIR-Konformität).

4. Weiterführung von Forschung und Demonstration

- Fortsetzung kurz- und mittelfristiger Demonstrationsprojekte mit neuen Fahrzeuggenerationen (insb. FCE-Busse).
- Nutzung des entwickelten standardisierten Test- und Bewertungsrahmens als Referenz („Goldstandard“) für Folgeprojekte.

5. Strategische Einbettung in die Energie- und Mobilitätspolitik

- Rückkoppelung der Projektergebnisse in die Energiestrategie Tirol und vergleichbare alpine Regionen.

C) Projektdetails

6 Methodik

Das Forschungsprojekt H2Alpin verfolgte einen integrativen, systemischen Forschungs- und Demonstrationsansatz, um die Einsatzfähigkeit, Wirtschaftlichkeit und Nachhaltigkeit von Wasserstoffmobilität im alpinen Raum evidenzbasiert zu bewerten. Die Methodik kombinierte reale Demonstration, standardisiertes Monitoring sowie techno-ökonomische, ökologische und organisatorische Analysen.

Zentraler methodischer Ansatz war die Erprobung von Brennstoffzellenfahrzeugen (FCBE, FCET) im Realbetrieb unter spezifischen alpinen Rahmenbedingungen. Dazu zählten insbesondere Steigungsfahrten, kurvenreiche Bergstrecken, Temperatur- und Witterungsextreme sowie hohe Anforderungen an Brems- und Sicherheitssysteme. Fuel Cell Electric Trucks wurden über einen längeren Zeitraum in den regulären Logistikbetrieb integriert, während Fuel Cell Electric Buses im Rahmen zeitlich begrenzter Testfahrten auf ausgewählten alpinen Routen erprobt wurden.

Zur Sicherstellung der Vergleichbarkeit wurde ein herstellerunabhängiger, standardisierter Testaufbau entwickelt. Erfasste Parameter umfassten u. a. Energieverbrauch, Fahrprofile, geokodierte Routen, Temperaturbedingungen, Tankprotokolle, Betriebs- und Wartungsdaten sowie qualitative Rückmeldungen von Fahrer:innen und Werkstätten. Die Datenerhebung erfolgte durch eine Kombination aus automatisiert ausgelesenen Fahrzeugdaten und ergänzenden manuellen Erhebungen.

Die erhobenen Daten wurden im Rahmen einer vergleichenden Analyse unterschiedlicher Antriebssysteme (Brennstoffzelle, Batterie, Diesel als Referenz) ausgewertet. Ziel war nicht die Bewertung einzelner Fahrzeugmodelle, sondern die Identifikation geeigneter Use-Cases für den Einsatz von Wasserstoffmobilität im alpinen Raum.

Bestehende Energie- und Mobilitätsszenarien wurden analysiert und mit Projekt- und Expert:innenwissen abgeglichen. Ergänzend wurden Unternehmensbefragungen und Literaturanalysen durchgeführt, um den potenziellen Wasserstoffbedarf im Mobilitätssektor realistisch einzuordnen und in den Kontext regionaler und europäischer Rahmenbedingungen zu stellen.

FCETs

- Zur Beurteilung der Umweltwirkungen wurden Lebenszyklusanalysen (LCA) durchgeführt. Diese basierten auf Sekundärdaten, realitätsnahen Fahrprofilen sowie modellhaften Referenzstrecken im alpinen Kontext. Betrachtet wurden insbesondere Treibhausgasemissionen (CO₂-Äquivalente) und der Primärenergiebedarf. Verschiedene Szenarien (z. B.

Strommix, Topografie) ermöglichten eine differenzierte ökologische Gesamtbewertung.

- Ergänzend erfolgten Total-Cost-of-Ownership-(TCO)-Analysen sowie die Bewertung von Investitions- und Betriebskostenstrukturen. Aufbauend darauf wurden Beschaffungsplattformen sowie Miet- und Pay-per-use-Modelle konzipiert und unter realen Markt- und Förderbedingungen bewertet.



8 Publikationen und Disseminierungsaktivitäten

Aus dem Projekt H2Alpin sind folgende Publikationen bzw. Disseminierungsaktivitäten hervorgegangen:

- Rhomberg, M. (2022). *Challenges Arising from Actors' Expectations in Emerging Innovation Ecosystems*. Bachelor Thesis, MCI | The Entrepreneurial School®, Innsbruck, Austria.
- Schneider, S., Som, O., & Rhomberg, M. (2023, June). *Ecosystem Emergence Facing Technological and Political Uncertainty: A Longitudinal Perspective*.
Paper presented at the **XXXIV ISPIM Innovation Conference**, Ljubljana, Slovenia. ISBN 978-952-65069-3-7.
- Ascher, S. (2023). *Development and assessment of scenarios for hydrogen production and application in Tyrol's industries in 2035*. Master Thesis, MCI | The Entrepreneurial School®, Innsbruck, Austria.
- Harrer, J. (2023). *Bewertung der Umweltverträglichkeit von Lastkraftwagen mit Wasserstoff-Brennstoffzellen Antriebssystem im alpinen Bereich auf Grundlage einer Lebenszyklusanalyse*. Master Thesis, MCI | The Entrepreneurial School®, Innsbruck, Austria.
- Holzknecht, A. (2023). *Environmental Analysis of Hydrogen Fuel Cell-Powered Buses in Tyrol: A Life Cycle Assessment (LCA) Perspective*. Master Thesis, MCI | The Entrepreneurial School®, Innsbruck, Austria.
- Cuk, B. (2024). *Lebenszyklusanalyse von batteriebetriebenen Lastkraftwagen: Vergleich von Lithium-Ionen- und Natrium-Ionen-Batterietechnologien*. Master Thesis, MCI | The Entrepreneurial School®, Innsbruck, Austria.
- Grimm, V. (2025). *Comparative Life Cycle Assessment of End-of-Life Recycling for Heavy-Duty Vehicle Batteries and Fuel Cells*. Bachelor Thesis, MCI | The Entrepreneurial School®, Innsbruck, Austria.
- Kassewalder, N. (2025). *Eignung von Brennstoffzellenfahrzeugen in der Schwerlastmobilität für den Einsatz im alpinen Raum*. Bachelor Thesis, MCI | The Entrepreneurial School®, Innsbruck, Austria.
- Volgger, J. (2025). *How Do Actors Perceive the Emergence of an Innovation Ecosystem for Hydrogen Mobility in Austria – A Qualitative Exploratory Case Study*.
Bachelor Thesis, MCI | The Entrepreneurial School®, Innsbruck, Austria.
- Wagner, M. (2025). *Szenarienentwicklung und modellhafte Analyse des Bedarfs an grünem Wasserstoff und der Produktionskapazitäten in Tirol – mit regionalen und saisonalen Schwankungen*. Master Thesis, MCI | The Entrepreneurial School®, Innsbruck, Austria.

- Schuchter, L., Holzknecht, A., & Spruck, M. (2025, June). *Lifecycle Greenhouse Gas Emissions and Energy Efficiency of Fuel Cell Electric Trucks in Alpine Applications*. Poster presented at the **XIX Minisymposium Verfahrenstechnik**, Innsbruck, Austria. ISBN 978-3-200-10576-8.
- Artikel in Printmedium ECONOVA in der Dezemberausgabe 2025
- Veröffentlichung von Kurzartikeln zu Projektaktivitäten auf Homepages diverser Kooperationsprojekte (HyBus, WIVA P&G HyWest, Amethyst etc.)

Diese Projektbeschreibung wurde von der Fördernehmerin/dem Fördernehmer erstellt. Für die Richtigkeit, Vollständigkeit und Aktualität der Inhalte sowie die barrierefreie Gestaltung der Projektbeschreibung, übernimmt der Klima- und Energiefonds keine Haftung.

Die Fördernehmerin/der Fördernehmer erklärt mit Übermittlung der Projektbeschreibung ausdrücklich über die Rechte am bereitgestellten Bildmaterial frei zu verfügen und dem Klima- und Energiefonds das unentgeltliche, nicht exklusive, zeitlich und örtlich unbeschränkte sowie unwiderrufliche Recht einräumen zu können, das Bildmaterial auf jede bekannte und zukünftig bekanntwerdende Verwertungsart zu nutzen. Für den Fall einer Inanspruchnahme des Klima- und Energiefonds durch Dritte, die die Rechteinhaberschaft am Bildmaterial behaupten, verpflichtet sich die Fördernehmerin/der Fördernehmer den Klima- und Energiefonds vollumfänglich schad- und klaglos zu halten.