

CO2InnO – Reallabor für eine CO₂-neutrale Innovationsregion

CO2InnO – Laboratoire vivant pour une région d'innovation neutre en CO₂

Die vorliegende Revue ist eine Zusammenfassung des Interreg-Projektes CO2InnO, ein grenzüberschreitendes Forschungsprojekt zu innovativen Energie- und Mobilitätslösungen. In diesem Rahmen wurden Lösungsansätze entwickelt, um einen Beitrag zur Dekarbonisierung der Oberrheinregion zu leisten. Die wesentlichen Projekthinhalte werden in dieser Revue vom Projektconsortium in zusammengefasster Form präsentiert. Detailliertere Informationen können direkt bei den betreffenden Partnern eingeholt werden. CO2InnO wurde im Oktober 2022 gestartet und wurde bis September 2025 vom EU-Förderprogramm Interreg Oberrhein kofinanziert.

La présente revue est une synthèse du projet Interreg CO2InnO : un projet scientifique transfrontalier portant sur des solutions innovantes dans les domaines de l'énergie et de la mobilité. Dans ce cadre, des approches ont été développées afin de contribuer à la décarbonation de la région du Rhin supérieur. Les principaux contenus du projet sont présentés dans cette revue de façon synthétique par le consortium du projet. Des informations plus détaillées peuvent être obtenues directement auprès des partenaires concernés. CO2InnO a débuté en octobre 2022 et a été cofinancé jusqu'en septembre 2025 par le programme européen Interreg Rhin supérieur.

Vorstellung des Interreg-Projekts CO2InnO Présentation du projet Interreg CO2InnO	→ 2-3
Pilotanlage eines H2 betriebenen Blockheizkraftwerkes Installation pilote d'une centrale de cogénération à hydrogène	→ 4
Karte zu den Wasserstoffanlagen und -projekten am Oberrhein Carte des installations et projets hydrogène dans le Rhin supérieur	→ 5
Bestandsaufnahme der Ladeinfrastruktur État des lieux des infrastructures de recharge	→ 6
Karte zur nachhaltigen Mobilität in den Gebietskörperschaften Carte de la mobilité durable dans les collectivités territoriales	→ 7
Rechts- und verwaltungsrechtliche Analyse der Klimaneutralität Analyse juridico-administrative de la neutralité carbone	→ 8
Umfrage zur Bürgerakzeptanz der neuen Energietechnologien Acceptation citoyenne des nouvelles technologies énergétiques	→ 9
Mikronetze, Wasserstoff und Cybersicherheit Micro-réseaux, hydrogène et cybersécurité	→ 10
Umwelteinflüsse der dezentralen Energiesysteme Impacts environnementaux des systèmes énergétiques	→ 11
Die Arbeitsgruppen des Interreg-Projektes CO2InnO Les groupes de travail du projet Interreg CO2InnO	→ 12

Vorstellung des Interreg-Projekts CO2InnO

Présentation du projet Interreg CO2InnO



1. Kolloquium des Interreg-Projektes CO2InnO in Freiburg i.B. · Fokus Wasserstoff
1er Colloque du projet Interreg CO2InnO à Fribourg · Focus hydrogène

Das Projekt CO2InnO wurde von der Universität Freiburg getragen und erstreckte sich über einen Zeitraum von Oktober 2022 bis September 2025. Kofinanziert wurde es durch das Interreg-Oberrhein-Programm mit Mitteln aus dem EFRE-Fonds der Europäischen Union. Das deutsch-französische Konsortium bestand aus folgenden kofinanzierenden Partnern: das KIT (Karlsruher Institut für Technologie), die Universität Straßburg mit dem Forschungszentrum CNRS, die Universität Haute-Alsace, die Hochschule Karlsruhe, die Hochschule Kehl, die Stadt Offenburg, TRION-climate e.V. und die Klimapartner Südbaden.

Das Hauptziel von CO2InnO ist es, einen Beitrag zur Klimaneutralität des Oberrheins zu leisten, indem dezentrale Lösungen zur Energieerzeugung und -nutzung sowie für den Verkehr getestet und gefördert werden. Diese Lösungen basieren insbesondere auf den Einsatz von Wasserstoff und der E-Mobilität zur Optimierung der erneuerbaren Energieerzeugung.

Das Projekt bringt französische und deutsche Partner zusammen, die eng mit Bürgern und lokalen Akteuren zusammenarbeiten, um die Auswirkungen und den Nutzen dieser Innovationen auf regionaler Ebene zu bewerten.

Die wichtigsten Forschungsschwerpunkte des Projekts werden in folgenden Workpackages (WP) bearbeitet:

- Die Entwicklung einer wasserstoffbetriebenen Kraft-Wärme-Kopplungsanlage in Form eines Demonstrators – WP2;
- Die Untersuchung der nachhaltigen Mobilität und der zugehörigen Ladeinfrastruktur – WP3;
- Die Analyse der technischen, administrativen und rechtlichen Rahmenbedingungen für die Umsetzung dieser Lösungen – WP4;
- Die gesellschaftliche Akzeptanz klimaneutraler Technologien – WP5;
- Der Aspekt der Cybersicherheit in dezentralen Energiesystemen – WP6;
- Die Umweltauswirkungen von Energiesystemen – WP7.

Le projet CO2InnO, porté par l'Université de Fribourg, s'est déroulé d'octobre 2022 à septembre 2025. Cofinancé par le programme Interreg Rhin Supérieur, soutenu par l'Union européenne, il rassemble un consortium franco-allemand composé des partenaires co-financiers suivants : le KIT (Karlsruhe Institut für Technologie), l'Université de Strasbourg avec le CNRS, l'Université de Haute-Alsace, la Hochschule Karlsruhe, la Hochschule Kehl, la Ville d'Offenburg, TRION-climat et les Klimapartner Südbaden.

L'objectif principal de CO2InnO est de contribuer à la neutralité carbone du Rhin supérieur, en testant et en promouvant des solutions décentralisées pour la production et la consommation d'énergie ainsi que pour les transports. Ces solutions sont notamment basées sur l'usage de l'hydrogène et de la mobilité électrique comme moyens d'optimiser la production d'énergie renouvelable.

Le projet rassemble des partenaires français et allemands qui travaillent en étroite collaboration avec les citoyens et les parties prenantes locales afin d'évaluer l'impact et les bénéfices de ces innovations à l'échelle régionale.

Les principaux axes du projet sont étudiés dans les workpackages (WP) suivants :

- Le développement d'une unité de production combinée de chaleur et d'électricité à base d'hydrogène, sous forme de démonstrateur – WP2 ;
- La mobilité durable et les infrastructures de recharge associées – WP3 ;
- L'analyse des cadres techniques, administratifs et juridiques nécessaires au déploiement de ces solutions – WP4 ;
- L'acceptation sociale des technologies climatiques neutres – WP5 ;
- La cybersécurité dans les systèmes énergétiques décentralisés – WP6 ;
- Les impacts environnementaux des systèmes énergétiques – WP7.



2. Kolloquium des Interreg-Projektes CO2InnO in Colmar · Fokus E-Mobilität
2e Colloque du projet Interreg CO2InnO à Colmar · Focus sur l'électromobilité

Darüber hinaus waren die Kommunikation und Verwertung der Projektergebnisse ein zentrales Anliegen während des gesamten CO2InnO-Projekts (WP1). Regionale Akteure sollten sensibilisiert und der grenzüberschreitende Austausch gefördert werden. In diesem Rahmen wurden drei grenzüberschreitende Fachkolloquien unter Federführung von TRION-climate e.V. organisiert, die jeweils ein zentrales Thema des Projekts in den Fokus stellten.

Das erste Kolloquium fand im Dezember 2023 in der Universität Freiburg statt und widmete sich dem Wasserstoff als Energieträger. Dabei wurde die im Rahmen des Projekts entwickelte Pilotanlage zur WasserstoffKWK vorgestellt und deren konkrete Anwendung in der Stadt Offenbourg diskutiert. Zudem haben verschiedene Unternehmen wie 2G Energy, Ingérop und badenovaNETZE zum technologischen Reifegrad bestehender Lösungen referiert.

Das zweite Kolloquium fand im Juli 2024 in den Räumlichkeiten der Kollektivität Elsass in Colmar statt. Im Mittelpunkt stand die Elektromobilität, mit Beiträgen zu den Fortschritten des Projekts in diesem Bereich, einem regionalen Überblick von e-mobil BW und dem Pôle Véhicule du Futur, sowie Fachvorträgen zum Thema Batterien. Zudem wurden innovative Beispiele aus der Industrie aus Frankreich, Deutschland und der Schweiz vorgestellt (Elonroad, Primeo Energie, badenova, Karbikes, naturenergie hochrhein AG).

Das Abschlusskolloquium fand im September 2025 in Straßburg im Plenarsaal der Kollektivität Elsass statt. Thema war die Optimierung der erneuerbaren Energieerzeugung und Speicherlösungen. Neben den letzten Ergebnissen der Projektpartner präsentierten externe Akteure wie Energy Consulting Kehl, Territoire d'énergie Alsace, EnBW, Storengy und Smart Grids-Plattform Baden-Württemberg die lokalen und grenzüberschreitenden Perspektiven in diesen Schlüsseltechnologien.

Ergänzend zu diesen Veranstaltungen organisierte TRION-climate e.V. zwei Besichtigungen, um den Best-Practice-Austausch und Einblicke in beispielhafte Projekte zu ermöglichen.

Die erste Besichtigung fand im November 2023 in Straßburg statt und ermöglichte die Erkundung der Wasserstoff-Experimentationsanlage R-HYFIE und der Hynovateur-Labore von R-GDS.

Die zweite Besichtigung wurde im Dezember 2024 in Freiburg durchgeführt und führte zum Fraunhofer ISE. Die Teilnehmer konnten dort die neuesten technologischen Entwicklungen im Bereich Photovoltaik und Wasserstoff entdecken und die Rolle der Innovation für die Energiewende nachvollziehen.

Diese Veranstaltungen dienen nicht nur der Verbreitung der Projektergebnisse an ein breites Fachpublikum, Kommunen und institutionelle Akteure, sondern stärkten auch die grenzüberschreitende Dynamik für eine klimaneutrale Zukunft in der Oberrheinregion.

Auf den folgenden Seiten stellen die Projektpartner ihre wichtigsten Ergebnisse in ihren jeweiligen Fachgebieten vor.



Par ailleurs, la communication et la valorisation des résultats ont constitué un axe majeur tout au long du projet CO2InnO (WP1). L'objectif étant de sensibiliser les acteurs régionaux et de favoriser les échanges transfrontaliers. Ainsi, trois colloques transfrontaliers ont été organisés sous la responsabilité de TRION-climat, chacun mettant en lumière une thématique structurante du projet.

Le premier colloque, tenu à l'Université de Fribourg en décembre 2023, se concentrait sur l'hydrogène comme vecteur énergétique. Il a permis de présenter l'installation pilote de cogénération à hydrogène développée dans le cadre du projet, d'aborder son application concrète dans la ville d'Offenbourg, et de faire intervenir plusieurs acteurs industriels comme 2G Energy, Ingérop, et badenovaNETZE sur le niveau de maturité technologique des solutions existantes.

Le deuxième colloque était accueilli par la Collectivité européenne d'Alsace à Colmar en juillet 2024. Il portait sur l'électromobilité, avec des présentations sur les avancées du projet en la matière, un état des lieux régional réalisé par e-mobil BW et le Pôle Véhicule du Futur, ainsi que des interventions d'experts sur la thématique des batteries. Des exemples industriels innovants de France, d'Allemagne et de Suisse ont également été partagés (Elonroad, Primeo Energie, badenova, Karbikes, naturenergie hochrhein AG).

Le colloque final de septembre 2025 s'est tenu à Strasbourg, dans la salle plénière de la Collectivité européenne d'Alsace. Il portait sur l'optimisation de la production d'énergies renouvelables et les solutions de stockage. En plus des derniers résultats présentés par les partenaires du projet, des acteurs économiques extérieurs, tels que Energy Consulting Kehl, Territoire d'énergie Alsace, EnBW, Storengy ou encore Smart Grids-Plattform Baden-Württemberg, sont intervenus pour illustrer les perspectives locales et transfrontalières dans ces domaines clés.

En complément de ces temps forts, deux visites techniques ont été organisées par TRION-climat afin de favoriser l'échange de bonnes pratiques et la découverte de projets exemplaires.

La première visite a eu lieu à Strasbourg en novembre 2023 et a permis de découvrir l'installation expérimentale R-HYFIE et les laboratoires Hynovateur de R-GDS.

La seconde visite, en décembre 2024 à Fribourg, s'est déroulée au Fraunhofer ISE. Les participants ont pu constater les avancées technologiques en matière de photovoltaïque et d'hydrogène, soulignant le rôle de l'innovation dans la transition énergétique.



Prof. Dr. Barbara Koch

Ehemalige Leiterin der Professur für Fernerkundung und Landschaftsinformationssysteme (Felis), Universität Freiburg
Ancienne directrice de la Chaire de télédétection et de systèmes d'information sur le paysage (Felis), Université de Fribourg

„Das Projekt CO2InnO hat Maßnahmen zur Gestaltung einer CO2-armen Oberrheinregion untersucht. Ein wichtiger Bereich war neben den technischen Möglichkeiten von Blockheizkraftwerken, die Einbindung der e-Mobilität. E-Mobilität bietet große Chancen, um innovative Technologien zu entwickeln, die Europa in eine Vorreiterrolle bringen können, sowohl technisch als auch hin zu mehr Klimaneutralität. Dabei eignet sich die Oberrheinregion als Pilot auf Grund der grenzüberschreitenden Gebietsintegration hervorragend.“

«Le projet CO2InnO a étudié des mesures visant à concevoir une région du Rhin supérieur à faibles émissions de CO₂. Au-delà des solutions techniques liées à la cogénération, l'un des points centraux du projet a concerné la mobilité électrique. La mobilité électrique offre de grandes opportunités pour développer des technologies innovantes, capables de placer l'Europe dans un rôle de précurseur, tant sur le plan technique que dans la transition vers une plus grande neutralité climatique. La région du Rhin supérieur se prête particulièrement bien à servir de projet pilote, grâce à son intégration transfrontalière.»

Ces événements ont non seulement permis de partager les résultats du projet avec un large public de professionnels, de collectivités et d'acteurs institutionnels, mais aussi de renforcer la dynamique transfrontalière en faveur d'une région du Rhin supérieur tournée vers la neutralité carbone.

Dans les pages suivantes, les partenaires du projet présentent et synthétisent leurs principaux résultats, chacun selon son domaine d'expertise.



Besichtigung Experimentationsanlage R-HYFIE und Lab Hynovateur der R-GDS in Straßburg
Visite de la plateforme d'expérimentation R-HYFIE et du Lab Hynovateur de R-GDS à Strasbourg

Installation pilote d'une centrale de cogénération à hydrogène



Prof. Dr. Maurice Kettner

Leitung des Instituts für Energieeffiziente Mobilität (IEEM), Fakultät Maschinenbau und Mechatronik, Hochschule Karlsruhe
 Direction de l'Institut de la mobilité à haute efficacité énergétique (IEEM), Faculté de génie mécanique et de mécatronique, Hochschule Karlsruhe

«Wasserstoff gezielt einsetzen – das CO2Inn0-Tool unterstützt die Planung nachhaltiger Energiesysteme.»

«Utiliser l'hydrogène de manière ciblée – CO2Inn0 soutient la planification de systèmes énergétiques durables.»

An der Hochschule Karlsruhe wurde ein realer Demonstrator entwickelt, um ein Energiesystem auf Basis von grünem Wasserstoff zu testen. Dieses System kombiniert die emissionsfreie Erzeugung von Strom und Wärme. Der Demonstrator besteht aus einem PEM-Elektrolyseur, einem Kompressor mit Hochdruckspeicher und einem Blockheizkraftwerk (BHKW), das für den Betrieb mit Wasserstoff angepasst wurde. Alle Komponenten sind miteinander verbunden und mit Messtechnik ausgestattet, um die Energieflüsse kontinuierlich zu überwachen.

Ein digitaler Zwilling des Systems wurde mit OpenModelica modelliert. Dabei wurden die Wechselwirkungen zwischen den Komponenten sowie Energiebedarf, Umweltbedingungen und Nutzerverhalten berücksichtigt. Ziel ist es, das System so zu gestalten, dass es auch in anderen Regionen angewendet werden kann.

Die Simulationen basieren auf den Verbrauchsprofilen von fünf öffentlichen Gebäuden in Offenbourg. Das getestete System umfasste ein Wasserstoff-BHKW, eine Photovoltaikanlage, einen 500 kW-Elektrolyseur, einen Wasserstoffspeicher (80 bar), einen Batteriespeicher (500 kWh) und eine Wärmepumpe. Das BHKW deckt die Grundlast an Wärme, während die Wärmepumpe Spitzenlasten abdeckt. Diese Konfiguration soll die Nutzung nichtfossiler Energiequellen maximieren und die Flexibilität des Systems erhöhen.

Die Simulationen zeigen, dass ein kleines BHKW (38 kWel / 53,7 kWth), das 4.000 Stunden im Jahr läuft, wirtschaftlicher ist und besser zu den geringeren Anforderungen im Sommer passt. In Kombination mit Solar- und Windenergie kann das System die CO₂e Emissionen deutlich senken. Es zeigen sich jedoch auch technische und wirtschaftliche Grenzen – insbesondere bei der Größe der Wasserstoffspeicher.

Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass Wasserstoff-BHKWs grundsätzlich in lokale Energiesysteme integriert werden können und zur CO₂-Reduktion beitragen. Dennoch sind weitere Untersuchungen nötig, um ihre tatsächliche Umsetzbarkeit (Kosten, Größe, Skalierbarkeit) besser beurteilen zu können. Eine Erweiterung des Modells durch Künstliche Intelligenz könnte Kommunen bei der Planung nachhaltiger Energiesysteme unterstützen und dabei helfen, maßgeschneiderte Lösungen für lokale Anforderungen zu entwickeln.

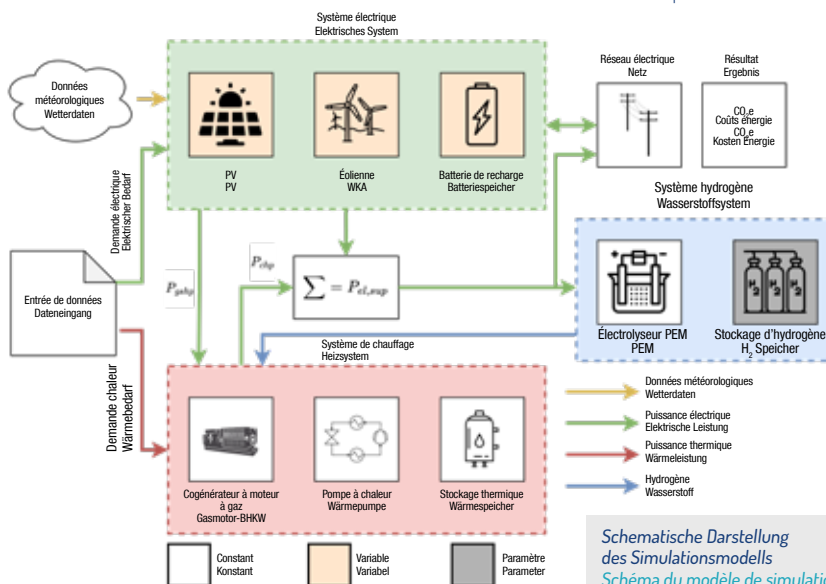
Un démonstrateur réel a été développé à la Hochschule Karlsruhe pour tester un système énergétique à base d'hydrogène vert, combinant production d'électricité et de chaleur sans émission. Ce démonstrateur comprend un électrolyseur PEM, un compresseur avec stockage haute pression et une centrale de cogénération adaptée à l'hydrogène. Ces éléments sont connectés et équipés pour mesurer en continu les flux d'énergie.

Un jumeau numérique du système a été modélisé sous OpenModelica, intégrant les interactions entre composants et prenant en compte la demande énergétique, les conditions environnementales et le comportement des utilisateurs. L'objectif est de rendre le système reproductible pour d'autres territoires.

Les simulations ont été réalisées à partir des profils de consommation de cinq bâtiments publics à Offenbourg. Le système testé comprenait une centrale de cogénération à hydrogène, une installation photovoltaïque, un électrolyseur de 500 kW, un stockage H₂ (80 bar), une batterie (500 kWh) et une pompe à chaleur. La centrale de cogénération couvre la base thermique, tandis que la pompe à chaleur répond aux pics de demande. La configuration vise à maximiser l'utilisation de sources non fossiles et à améliorer la flexibilité.

Les simulations montrent qu'une centrale de cogénération de petite taille (38 kWélec/53,7 kWth) opérant sur 4 000 heures/an est plus rentable et mieux adaptée aux faibles besoins estivaux. Combiné à des sources solaires et éoliennes, ce système permet une réduction significative des émissions de CO₂e. Toutefois, des limites apparaissent concernant la faisabilité technique et économique, notamment sur la taille des stockages H₂.

Les résultats indiquent que les centrales de cogénération à hydrogène sont intégrables dans les systèmes énergétiques locaux et peuvent contribuer à la décarbonation. Cependant, des recherches supplémentaires sont nécessaires pour évaluer leur viabilité réelle (coûts, dimensionnement, évolutivité). Une extension du modèle avec l'intelligence artificielle pourrait offrir aux collectivités un outil d'aide à la décision pour planifier des solutions énergétiques durables et adaptées à leurs besoins.



Schematische Darstellung des Simulationsmodells
 Schéma du modèle de simulation

Karte zu den Wasserstoffanlagen und -projekten am Oberrhein

Carte des installations et projets hydrogène dans le Rhin supérieur

Die Karte stellt eine Bestandsaufnahme über existierende und künftige Wasserstoffprojekte und -anlagen am Oberrhein dar. Nach einer Datenerhebung von TRION-climate e.V. wurde eine interaktive Karte von GeoRhena, dem geografischen Informationssystem des Oberrheins, erstellt. Eine erste Version wurde im Februar 2024 veröffentlicht.

Die Erhebung der Wasserstoffanlagen und -projekte basiert zunächst auf Informationen aus dem Netzwerk von TRION-climate e.V. Der Inhalt wurde zudem mit anderen Karten (H2.live, VIG'HY, 3H2) abgeglichen. Die Arbeit wurde von TRION-climate e.V. koordiniert, gemeinsam mit DINAMHySE (Frankreich), der Plattform H2-BW (Deutschland) und gazenergie (Schweiz).

Die Karte listet mehrere Kategorien und Unterkategorien auf, die durch Farben gekennzeichnet sind. Die Hauptkategorien sind:

- Die Produktion in blau, die die Herstellung von Wasserstoff durch Elektrolyse und Thermolyse umfasst;
- Die Nutzung in grün, welche die industrielle Nutzung, aber auch Wasserstofftankstellen beinhaltet;
- Der Forschungssektor in Grautönen, zu den verschiedenen Forschungsprojekten im Zusammenhang mit Wasserstoff;
- Die Verteilung von Wasserstoff über die gelb markierten Häfen als Wasserstoffhubs (Produktion, Lagerung, Transport, Verteilung) und schließlich die wichtigsten Pipelines und Pipelineprojekte am Oberrhein.

Die identifizierten Projekte sind nach ihrem Reifegrad bzw. Projektstand geordnet: in Planung, im Bau oder in Betrieb. Je dunkler die Farbe, desto fortgeschrittener sind die Projekte. Im Zuge des Hochlaufs der Wasserstoffwirtschaft am Oberrhein, soll die Karte sich laufend weiterentwickeln und regelmäßig aktualisiert werden.

La carte constitue un état des lieux des projets et installations liés à l'hydrogène existants et futurs dans le Rhin supérieur. À la suite d'une collecte de données réalisée par TRION-climat, une carte interactive a été créée par GeoRhena, le système d'information géographique du Rhin supérieur. Une première version a été publiée en février 2024.

L'inventaire des installations et projets hydrogène repose d'abord sur des informations communiquées par le réseau de TRION-climat. Le contenu a aussi été comparé à d'autres cartes (H2.live, VIG'HY, 3H2). Ce travail a été coordonné par TRION-climat avec DINAMHySE (France), Plattform H2-BW (Allemagne) et gazenergie (Suisse).

La carte recense plusieurs catégories et sous-catégories caractérisées par des couleurs. Les catégories principales sont :

- La production en bleu qui regroupe la production par électrolyse et par thermolyse ;
- Les usages en vert qui regroupent l'industrie qui gravite autour de l'hydrogène mais aussi les stations de distribution de l'hydrogène ;
- Le secteur de la recherche en nuances de gris qui regroupent les différents projets de recherche relatifs à l'hydrogène ;
- La distribution de l'hydrogène qui regroupe les hubs portuaires en jaune qui ont un rôle multiple (production, stockage, transport, distribution) et enfin les principales pipelines ou projet de pipelines dans le Rhin supérieur.

Les projets identifiés sont également classés par degré de maturité : en cours de planification, en cours de construction ou en cours d'exploitation. Plus la couleur est foncée, plus les projets sont mûrs. En fonction du développement de l'hydrogène sur le territoire du Rhin supérieur, cette carte est destinée à évoluer et s'actualiser régulièrement.

Projet	En construction	En activité	Type d'installation	Catégorie
Projet	en Aufbau	in Betrieb	Art der Anlage	Kategorie
			Electrolyse	Production
			Thermolyse	
			Station H2 Tankstellen	Usages
			Industrie H2 et non-industrielle H2-Industrie und Verkehr	
			Ports Häfen	Transport et distribution
			Pipelines	
				Recherche
Projet à l'étude	Projet en cours	Projet finalisé		
Projekt in Planung	Laufendes Projekt	Abgeschlossenes Projekt		Catégorie
				Recherche

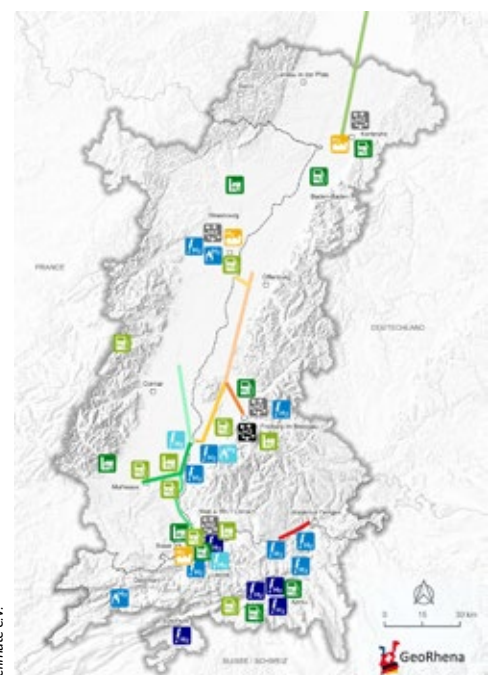
Vulla Parasote



Geschäftsführerin von TRION-climate e.V.
Directrice Générale de TRION-climat

“Mit dieser Karte erfüllt TRION-climate e.V. seine Grundaufgabe trinationale Daten als politische Entscheidungshilfe zu erfassen. Die Bestandsaufnahme der Wasserstoffprojekte diene als Grundlage für den Expertenausschuss Klima-Energie der Oberrheinkonferenz, der in 2024 eine neue Klima- und Energiestrategie für die grenzüberschreitende Zusammenarbeit am Oberrhein entwickelt hat”.

« La carte répond à la mission de TRION-climat de collecter des données trinationales pour soutenir la décision politique. Cet état des lieux sur l'hydrogène a servi de base au groupe d'experts Climat-Energie de la Conférence du Rhin Supérieur qui en 2024 a développé la nouvelle stratégie climat-énergie pour la coopération transfrontalière ».



Stand / Publiée le : 01.02.2024



Link zur Karte
Lien vers la carte

État des lieux des infrastructures de recharge



Adem Uğurlu

Wissenschaftlicher Mitarbeiter bei der Professur für Fernerkundung und Landschaftsinformationssysteme (Felis), Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
 Collaborateur scientifique à la chaire de télédétection et des systèmes d'information sur le paysage (Felis), Université de Fribourg

“Die Ladeinfrastruktur im Oberrhein wächst sehr schnell.”

«Les infrastructures de recharge dans le Rhin supérieur se développent très rapidement.»

Das Projekt CO2InnO befasst sich auch mit der Entwicklung nachhaltiger Mobilitätslösungen in der Oberrheinregion. Das Forschungsteam an der Universität Freiburg analysiert die räumliche Verteilung, Leistung und Auslastung der öffentlichen und privaten Ladeinfrastruktur, um Treibhausgasemissionen zu reduzieren und dem Klimawandel entgegenzuwirken. Durch eine sorgfältige Bewertung des aktuellen Ladenetzes wurden Lücken und Chancen im Ladenetz identifiziert.

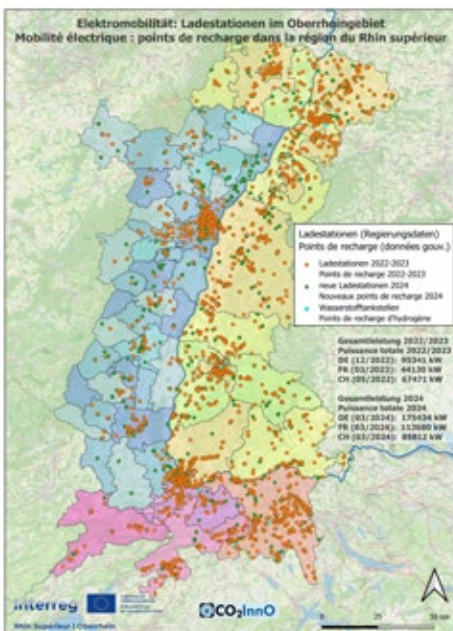
In die Forschung wurden auch rechtliche Rahmenbedingungen, technologische Fortschritte und Nutzerverhalten integriert, um datengestützte Lösungen für den Ausbau und die Optimierung einer nachhaltigen Mobilitätsinfrastruktur zu entwickeln. Alle Teilgebiete des Oberrheins haben ein enormes Wachstum in der Ladeinfrastruktur hinter sich. So wuchs im gesamten Oberrheingebiet die installierte Leistung laut Regierungsdaten um 81% innerhalb eines Jahres. Noch bleibt die Auslastung der Ladepunkte aber vergleichsweise niedrig, was größtenteils an dem niedrigen Anteil von Elektrofahrzeugen an der Gesamtflotte und den hohen Preisen bei öffentlichen Laden liegt. Private Ladeinfrastruktur ist weiterhin für die verladene Gesamtleistung hoch relevant.

Die Elektrifizierung der Flotten im Oberrhein bietet noch große Potenziale für die Emissionsersparnis. Eine Dekarbonisierung der Mobilität könnte trotz aktuell geringer Elektrifizierung des Fuhrparks erhebliche Einsparungen erreichen, wenn der Anteil der Elektro-PKW sich rasch weiter erhöht. Gemeinsame Anstrengungen aller Ebenen im Oberrheingebiet sind notwendig, um die Region klimaneutral zu machen. Zukünftig bieten Elektrofahrzeuge und die dazugehörige Infrastruktur wichtige Speicherkapazitäten dar, die mit Vehicle-to-Grid Technologie nutzbar gemacht werden können. Die nötige Infrastruktur weitet sich dabei weiter aus und wird mit aller Voraussicht die Vorgaben der EU erreichen.

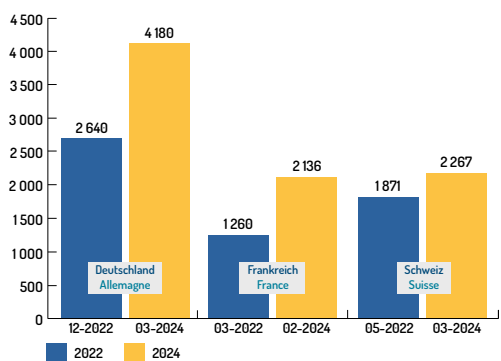
Le projet CO2InnO étudiait également les solutions de mobilité durable dans la région du Rhin supérieur. L'équipe de recherche de l'Université de Fribourg a analysé la répartition spatiale, la performance et le taux d'utilisation des infrastructures de recharge publiques et privées, afin de réduire les émissions de gaz à effet de serre et de lutter contre le changement climatique. Grâce à une évaluation minutieuse du réseau de recharge actuel, des manques et donc des potentiels de développement ont été identifiés.

La recherche intègre également les cadres juridiques, les avancées technologiques et les comportements des usagers afin de développer des solutions basées sur les données pour l'expansion et l'optimisation d'une infrastructure de mobilité durable. De part et d'autre de la frontière, l'ensemble du Rhin supérieur a connu une forte croissance de ses infrastructures de recharge. Ainsi, selon les données gouvernementales, la puissance installée a augmenté de 81 % en une seule année dans l'ensemble de la région. Toutefois, le taux d'utilisation des bornes de recharge reste relativement faible, principalement en raison de la faible proportion de véhicules électriques dans le parc automobile global et des prix élevés de la recharge publique. L'infrastructure de recharge privée reste un élément très important en termes de puissance totale délivrée.

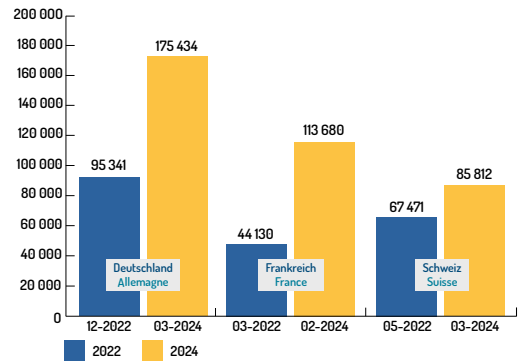
L'électrification des flottes dans le Rhin supérieur présente encore un fort potentiel de réduction des émissions. Une décarbonation de la mobilité pourrait permettre des économies considérables, même si l'électrification actuelle du parc de véhicules est encore faible, à condition que la part des voitures électriques augmente rapidement. Des efforts conjoints à tous les niveaux dans la région du Rhin supérieur sont nécessaires pour rendre la région climatiquement neutre. À l'avenir, les véhicules électriques et l'infrastructure associée offriront d'importantes capacités de stockage, exploitables grâce à la technologie Vehicle-to-Grid (V2G). L'infrastructure nécessaire continue de s'étendre et devrait atteindre les objectifs fixés par l'Union européenne.



Anzahl der Ladepunkte im Oberrhein
 Nombre de bornes de recharge dans le Rhin supérieur



Verfügbare Gesamtladeleistung [kW]
 Puissance de charge totale disponible [kW]



Karte zur nachhaltigen Mobilität für die Gebietskörperschaften

Carte de la mobilité durable pour les collectivités territoriales

TRION-climate e.V. hat eine Umfrage bei den Gebietskörperschaften des Oberrheins durchgeführt, um eine kartografische Bestandsaufnahme der nachhaltigen Mobilität zu erstellen. Erfasst wurden Best Practices zur nachhaltigen Mobilität sowie die Verteilung nach Antriebsart in Fuhrparks öffentlicher Einrichtungen. Zudem wurden laufende und zukünftige grenzüberschreitende Projekte im Bereich der nachhaltigen Mobilität identifiziert. Die Ergebnisse werden auf einer interaktiven Karte, welche in Zusammenarbeit mit dem GIS-System GeoRhena entstanden ist, präsentiert.

Die Umfrage richtete sich an 89 Gebietskörperschaften: 41 Kommunalverbände in Frankreich, 15 Kreise in Deutschland, 5 Schweizer Kantone sowie 28 Städte mit mehr als 20.000 Einwohnern. Über 80 % dieser Einrichtungen nahmen an der Umfrage teil: ein deutliches Zeichen für das starke Engagement in Sachen nachhaltiger Mobilität.

Einige wichtige Erkenntnisse aus den befragten Gebieten:

- 99 % der Gebietskörperschaften besitzen Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor
- 81 % besitzen bereits elektrische Fahrzeuge
- 52 % planen die Dekarbonisierung ihres Fuhrparks.
- 57 % bieten öffentliche Ladestationen an.
- 63 % fördern nachhaltige Mobilität mit Negativanreizen (Geschwindigkeitsbeschränkung, gebührenpflichtige Parkplätze usw.).

Die erfassten Daten wurden analysiert und in Form von Gebietssteckbriefen zusammengefasst. GeoRhena, das geografische Informationssystem für den Oberrhein, integrierte die Ergebnisse anschließend in eine interaktive Karte. Diese zeigt auf einen Blick, welche Gebietskörperschaften geantwortet haben und erlaubt per Klick den Zugriff auf die jeweilige Auswertung des Fragebogens. Dieses Vorgehen ermöglichte ein besseres Verständnis der Verteilung und Ausgestaltung nachhaltiger Mobilitätspolitik am Oberrhein und hebt zugleich lokale Initiativen hervor.

TRION-climat a mené une enquête auprès des collectivités territoriales du Rhin supérieur afin de dresser un état des lieux cartographique de la mobilité durable. Les bonnes pratiques ainsi que la répartition selon le type de motorisation dans les flottes de véhicules des établissements publics ont été recensées. De plus, les projets transfrontaliers en cours et futurs dans le domaine de la mobilité durable ont été identifiés. Les résultats sont présentés sur une carte interactive, réalisée en collaboration avec le système d'information géographique GeoRhena.

L'enquête s'est adressée à 89 collectivités territoriales : 41 EPCI en France, 15 Kreise en Allemagne, 5 cantons suisses, ainsi que 28 villes de plus de 20 000 habitants. Plus de 80 % de ces entités ont répondu, témoignant d'un fort engagement pour la mobilité durable.

Quelques enseignements à retenir des territoires interrogés :

- 99 % des collectivités possèdent des véhicules thermiques
- 81 % possèdent déjà des véhicules électriques
- 52 % ont un plan de transformation de leur flotte
- 57 % proposent des bornes de recharge publiques
- 63 % ont mis en place des politiques dissuasives afin de promouvoir la mobilité durable (restrictions de vitesses, parkings payants, etc.)

Les données récoltées ont été analysées et synthétisées sous forme de fiches descriptives par territoire. GeoRhena a ensuite intégré ces résultats à une carte interactive. Celle-ci distingue visuellement les collectivités ayant répondu à l'enquête et permet, via un simple clic, d'accéder à la fiche détaillant les réponses de chaque territoire. Cette démarche a permis de mieux comprendre la distribution et la nature des politiques de mobilité durable dans le Rhin supérieur, tout en valorisant les initiatives locales.

Jeanne Le Chanony



Projektbeauftragte
TRION-climate e.V.
Chargée de projet
TRION-climat

“Diese partizipative Karte macht das Engagement der Oberrheingebiete sichtbar und trägt zur Verbreitung von Best Practices im Bereich der nachhaltigen Mobilität bei.”

« Cette cartographie participative rend visible l'engagement des territoires du Rhin supérieur et facilite la diffusion des bonnes pratiques en matière de mobilité durable ».



Link zur Karte
Lien vers la carte



Auszug aus der Karte zur nachhaltigen Mobilität der Gebietskörperschaften im Oberrheingebiet

Extrait de la carte de la mobilité durable pour les collectivités territoriales du Rhin supérieur

Analyse juridico-administrative de la neutralité carbone

Philipp Boetzelen



Forschungsreferent, Kehler Institut für Angewandte Forschung (KIAF), Hochschule Kehl
Réfèrent recherche, Institut de recherche appliquée de Kehl (KIAF), Hochschule Kehl

Prof. Dr. Michael Frey, Mag. rer. publ.



Leiter KIAF, Hochschule Kehl
Directeur du KIAF, Hochschule Kehl

Bénédicte Laroze, LL.M.



Wissenschaftliche Mitarbeiterin KIAF, Hochschule Kehl
Collaboratrice scientifique KIAF, Hochschule Kehl

Die Europäische Union (EU) hat sich ehrgeizige Ziele im Kampf gegen den Klimawandel gesetzt und strebt bis 2050 Klimaneutralität an (Art. 1 der Verordnung (EU) 2021/1119)¹. Diese rechtliche Verpflichtung erfordert von jedem Mitgliedstaat, seine nationalen Politiken zur Reduktion der Treibhausgasemissionen anzupassen. Deutschland geht noch einen Schritt weiter und hat im Klimaschutzgesetz (§ 3 Abs. 2 KSG) das Ziel der Klimaneutralität bereits für 2045 festgelegt, mit anschließenden negativen Emissionen nach 2050. Vor diesem Hintergrund ist die Dekarbonisierung des Energiesystems der EU, das für 75% der Treibhausgasemissionen verantwortlich ist (85 % in Deutschland im Jahr 2022), von zentraler Bedeutung.

Die Dekarbonisierung des Energiesektors erfordert eine bessere Integration des Energiesystems. Die Strategie der EU² zur Erreichung dieses Ziels beruht auf drei sich ergänzenden Säulen: verbesserte Energieeffizienz durch ein „kreislauforientiertes“ Energiesystem; verstärkte Elektrifizierung der Endverbrauchssektoren; Nutzung erneuerbarer Brennstoffe und kohlenstoffarmer Energieträger, wenn Direktheizung oder Elektrifizierung nicht möglich. Das Projekt CO2InnO, welches grünen Wasserstoff zur langfristigen Speicherung von Strom nutzen möchte, um ein lokales Netz mit Strom und Wärme zu versorgen, fügt sich vollständig in diese Strategie ein.

Die konkrete Umsetzung eines solchen Projekts auf lokaler Ebene, sowohl in Frankreich als auch in Deutschland, stößt jedoch auf erhebliche juristisch-administrative Hürden. Der einschlägige Rechtsrahmen ist noch nicht ausgereift und befindet sich gegenwärtig in der Aufbauphase, da beide Länder die Richtlinien RED III³ (erneuerbare Energien) und NIS²⁴ (Cybersicherheit) noch nicht vollständig in nationales Recht umgesetzt haben. Darüber hinaus erfordert die notwendige Infrastruktur langwierige und komplexe Genehmigungsverfahren, die trotz der Übereinstimmung mit den europäischen Zielen eine erhebliche Bremse für die Entwicklung solcher innovativen Projekte darstellen können.

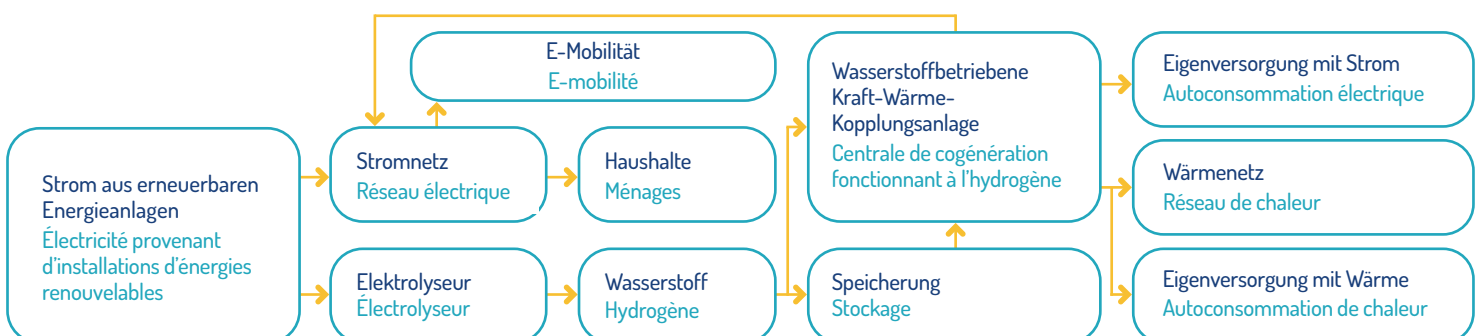
L'Union Européenne (UE) a adopté des objectifs ambitieux en matière de lutte contre le changement climatique, visant la neutralité climatique d'ici 2050 (Art. 1er Règlement (UE) 2021/1119)¹. Cette obligation légale engage chaque État Membre à adapter ses politiques nationales de réduction des émissions de gaz à effet de serre. L'Allemagne va plus loin en fixant, par la Klimaschutzgesetz (§3 Abs. 2 KSG), un objectif de neutralité carbone dès 2045, puis d'émissions négatives après 2050. Dans ce contexte, la décarbonation du système énergétique de l'UE, responsable de 75 % des émissions de gaz à effet de serre (85 % en Allemagne en 2022), est essentielle.

Décarboner le secteur de l'énergie nécessite une meilleure intégration du système énergétique. La stratégie de l'UE² pour y parvenir repose sur trois piliers complémentaires : l'efficacité énergétique par un système plus "circulaire" ; l'électrification accrue des secteurs d'utilisation finale ; l'utilisation de combustibles renouvelables et de carburants à faible teneur en carbone, pour des applications finales dans lesquelles le chauffage direct ou l'électrification ne sont pas possibles. Le projet CO2InnO, qui propose d'utiliser de l'hydrogène vert pour stocker l'électricité à long terme mais aussi alimenter un réseau local en chaleur et électricité, s'inscrit pleinement dans cette dynamique.

Cependant, la mise en œuvre concrète d'un tel projet à l'échelle locale, en France comme en Allemagne, se heurte à des obstacles juridico-administratifs importants. Le cadre législatif pertinent reste très récent et encore en construction, en partie parce que les deux pays n'ont pas encore totalement transposé les directives RED III³ (énergies renouvelables) et NIS²⁴ (cybersécurité) dans leur droit interne. Par ailleurs, l'infrastructure nécessaire implique des procédures d'autorisation longues et complexes, qui peuvent constituer un frein au développement de ces projets innovants, malgré leur alignement avec les objectifs européens.

Nutzung erneuerbaren Stroms durch Wasserstoff und Energienetze.

Valorisation de l'électricité renouvelable via l'hydrogène et les réseaux énergétiques.



Umfrage zur Bürgerakzeptanz der neuen Energietechnologien

Acceptation citoyenne des nouvelles technologies énergétiques

Das KIT-DFIU untersuchte in Kooperation mit den Klimapartnern Südbaden die Akzeptanz verschiedener Technologien, die im Rahmen von CO2Inno erforscht werden. Im Fokus der empirischen Analysen standen dabei Wasserstoff-BHKW in kommunalen Gebäuden, daneben wurden auch öffentliche E-Lade-Infrastrukturen sowie intelligente Stromzähler in Haushalten und deren Anwendungen untersucht. Mithilfe verschiedener Methoden wurden sowohl Best-Practice-Beispiele analysiert als auch ExpertInnen und die Öffentlichkeit zu den Technologien befragt.

Die Recherche von Best-Practice-Beispielen zeigt, dass bisher, insbesondere in Frankreich, nur wenige Pilotprojekte existieren, in denen Wasserstoff-BHKW zur Anwendung kommen. Die Befragungsergebnisse zeigen, dass diese Technologie von der Öffentlichkeit grundsätzlich positiv bewertet wird. Allerdings wird das eigene Wissen zum Thema von den Studienteilnehmenden als gering eingeschätzt. Dies deutet darauf hin, dass die frühzeitige Einbindung von lokalen Stakeholdern wie Anwohnern für die erfolgreiche Umsetzung neuer Projekte von hoher Wichtigkeit ist.

Darüber hinaus identifizierte die Analyse der Best-Practice-Beispiele weitere Akteure, die in verschiedenen Phasen des Umsetzungsprozesses relevant sind. Hervorzuheben ist, dass die bisherigen Pilotprojekte in hohem Maße abhängig von finanzieller Förderung sind und höhere Investitionen als alternative Technologieoptionen erfordern.

Im Rahmen einer Befragung von Wasserstoff-Experten stellte sich zudem heraus, dass das Potenzial von Wasserstofftechnologien im Wärme- bzw. Stromsektor als relativ gering eingeschätzt wurde, da mit dem verfügbaren grünen Wasserstoff zukünftig in erster Linie die Industrie und der Schwerlasttransport transformiert werden sollen. Die Relevanz von grünem Wasserstoff als entscheidender Baustein einer zukünftigen nachhaltigen Energieversorgung wurde jedoch hervorgehoben.

Le KIT-DFIU étudie, en collaboration avec l'association Klimapartner Südbaden, l'acceptation de différentes technologies explorées dans le cadre du projet CO2Inno. L'analyse empirique s'est principalement concentrée sur les cogénérateurs à hydrogène installés dans des bâtiments communaux. En parallèle, les infrastructures publiques de recharge pour véhicules électriques ainsi que les compteurs électriques intelligents dans les foyers et leurs applications ont également été examinés.

Grâce à différentes méthodes, des exemples de bonnes pratiques ont été analysés et des experts ainsi que le grand public ont été interrogés sur ces technologies. La recherche d'exemples de bonnes pratiques montre que, jusqu'à présent (notamment en France), seuls quelques projets pilotes ont été mis en œuvre utilisant des cogénérateurs à hydrogène. Les résultats des enquêtes indiquent que cette technologie est généralement perçue positivement par le public. Toutefois, les participants à l'étude estiment avoir peu de connaissances sur le sujet. Cela suggère que l'implication précoce des parties prenantes locales, telles que les riverains, est d'une grande importance pour la réussite de nouveaux projets.

Par ailleurs, l'analyse des exemples de bonnes pratiques a permis d'identifier d'autres acteurs pertinents à différentes phases du processus de mise en œuvre. Il convient de souligner que les projets pilotes réalisés jusqu'à présent dépendent fortement de subventions financières et nécessitent des investissements plus élevés que d'autres options technologiques.

Enfin, une enquête menée auprès d'experts de l'hydrogène a révélé que le potentiel des technologies à base d'hydrogène dans les secteurs de la chaleur et de l'électricité est considéré comme relativement faible. En effet, l'hydrogène vert disponible devrait principalement être utilisé à l'avenir pour transformer l'industrie et le transport de marchandises lourd. Toutefois, l'importance de l'hydrogène vert en tant qu'élément clé d'un approvisionnement énergétique durable à long terme a été mise en avant.



Dr. Oliver Jochum

Koordinator 3H2, Klimapartner Südbaden e.V.
Coordinateur 3H2, Klimapartner Südbaden e.V.

“Die Energiewende gelingt nur mit den Menschen – Wasserstoff wird dabei ein zentraler Schlüssel sein, muss aber verständlich, zugänglich und sozial eingebettet sein”.

« La transition énergétique ne peut réussir qu'avec les citoyens – l'hydrogène en sera un élément central, mais il doit être compréhensible, accessible et intégré socialement. »

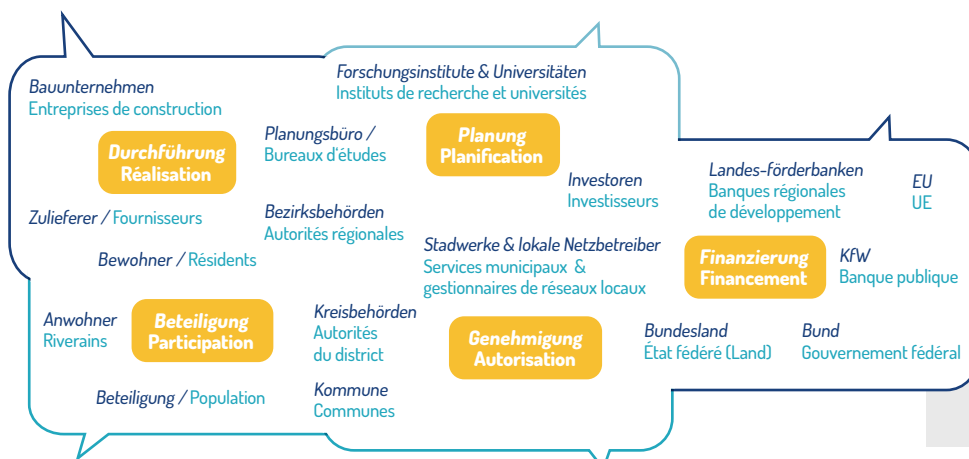


Dr. Daniel Sloat

Geschäftsführer Deutsch-Französisches Institut für Umweltforschung (DFIU), KIT
Directeur de l'Institut franco-allemand de recherche sur l'environnement (DFIU), KIT

“Die frühzeitige Kommunikation und Einbeziehung der Bevölkerung kann einen wichtigen Beitrag zur erfolgreichen Umsetzung neuer Energie-Projekte leisten”.

« Une communication précoce et l'implication de la population peuvent contribuer de manière significative à la réussite de la mise en œuvre de nouveaux projets énergétiques. »





Dr. Bushra Canaan

Dozentin am IRIMAS-Institut der Universität Hochelsass (UHA), spezialisiert auf Künstliche Intelligenz für Cybersicherheit in Mikronetzen
Maitresse de Conférences à l'Institut IRIMAS de l'UHA spécialisé en Intelligence Artificielle appliquée à la cybersécurité dans les micro-réseaux



Prof. Dr. Djaffar Ould Abdeslam

Professor am IRIMAS-Institut der UHA, spezialisiert auf Künstliche Intelligenz zur Verbesserung der Energiequalität und zur Reduzierung des Energieverbrauchs
Professeur des Universités à l'Institut IRIMAS de l'UHA, spécialisé en Intelligence Artificielle appliquée à la qualité de l'énergie et à la réduction des consommations

«In einem Mikronetz kann jedes vernetzte Objekt zu einem potenziellen Angriffsziel werden. Mithilfe von Künstlicher Intelligenz können Systeme entwickelt werden, die Cyberbedrohungen in Echtzeit erkennen, um das Mikronetz abzusichern, insbesondere die wasserstoffbasierten Einheiten, und so eine lokale, saubere und resiliente Energieversorgung gewährleisten».

« Dans un micro-réseau, chaque objet connecté peut devenir une cible. Grâce à l'intelligence artificielle, il est possible de développer des mécanismes capables d'identifier les cybermenaces en temps réel pour sécuriser le micro-réseau et en particulier les unités à hydrogène et garantir une énergie locale, propre et résiliente ».



Simulationswerkzeug für Mikronetze
Simulateur micro-réseau

Die Ergebnisse dieses Projektteils tragen zur Entwicklung lokaler, emissionsarmer und sicherer Lösungen bei, die auf Mikronetze ausgerichtet sind, kleinere Energienetze, die autonom betrieben werden können und erneuerbare Energien integrieren.

Im Zentrum dieser Mikronetze hat die Studie cybersicherheitstechnische Schwachstellen identifiziert, die durch die Vernetzung der digitalen Komponenten im System entstehen. Angriffsszenarien wurden modelliert, um ihre potenziellen Auswirkungen auf den Betrieb zu bewerten. Künstliche Intelligenz (KI) wurde entwickelt, um abnormales Verhalten automatisch zu erkennen.

Eine Wasserstoff-Kraft-Wärme-Kopplungseinheit (CHP), die sowohl Strom als auch Wärme mit hoher Effizienz erzeugt, wurde in die Studie integriert – eine vielversprechende Lösung zur Deckung des lokalen Energiebedarfs bei gleichzeitiger Begrenzung der CO₂-Emissionen. Doch diese intelligente Energieversorgung basiert auf komplexen, ständig vernetzten digitalen Systemen und ist damit anfällig für Cyberangriffe.

Hier setzt die Innovation an: ein auf künstlicher Intelligenz basierendes Erkennungssystem, das in der Lage ist, in Echtzeit jeden Eindringversuch oder jede Fehlfunktion zu identifizieren. Die KI erlernt das normale Verhalten des Mikronetzes und schlägt bei Abweichungen sofort Alarm – was die Resilienz und Sicherheit des Gesamtsystems stärkt. Diese Arbeiten tragen dazu bei, die Widerstandsfähigkeit intelligenter und nachhaltiger Energiesysteme zu verbessern.

Dieser Beitrag im Rahmen von CO2InnO zeigt, dass grenzüberschreitende Zusammenarbeit konkrete Lösungen hervorbringen kann: intelligente, sichere Mikronetze, die mit grünem Wasserstoff betrieben werden.

Les résultats de cette partie du projet contribuent à développer des solutions locales, bas-carbone et sûres, centrées sur les micro-réseaux : des réseaux énergétiques à échelle réduite, capables de fonctionner de façon autonome tout en intégrant des énergies renouvelables.

Au cœur de ces micro-réseaux, l'étude a identifié des vulnérabilités cyber liées à l'interconnexion des composants numériques du système. Des scénarios d'attaques ont été modélisés afin d'en évaluer les impacts potentiels sur le fonctionnement. Des techniques d'intelligence artificielle ont été développées pour détecter automatiquement les comportements anormaux.

Une unité de cogénération à hydrogène (CHP), produisant à la fois de l'électricité et de la chaleur avec un excellent rendement a été intégrée dans l'étude. Une solution prometteuse pour répondre aux besoins locaux tout en limitant les émissions de CO₂. Mais cette intelligence énergétique repose sur des systèmes numériques complexes, connectés en permanence et donc vulnérables aux cyberattaques.

C'est là qu'intervient l'innovation : un système de détection basé sur l'intelligence artificielle (IA), capable de repérer en temps réel toute tentative d'intrusion ou de dysfonctionnement. L'IA apprend le comportement normal du micro-réseau et alerte immédiatement en cas d'anomalie, renforçant la résilience et la sécurité de l'ensemble. Ces travaux contribuent à renforcer la résilience des systèmes énergétiques intelligents et durables.

Cette contribution dans CO2InnO montre que la coopération transfrontalière peut faire émerger des solutions concrètes : des micro-réseaux intelligents, sûrs, et alimentés par de l'hydrogène vert.

Impacts environnementaux des systèmes énergétiques

Dieser Projektteil untersucht die Umweltauswirkungen der Energiewende im Oberrheingebiet anhand einer Lebenszyklusanalyse (LCA). Diese quantifiziert die Auswirkungen eines Systems von der Ressourcengewinnung bis zum Lebensende und reduziert dabei blinde Flecken.

Rückbau des Kernkraftwerks Fessenheim

Eine erste LCA-Studie zeigte, dass das thermische Zerschneiden von Metallen einer der vor Ort am stärksten wirkenden Prozesse ist (62–99 %) und eine große Unsicherheitsquelle darstellt. Radioaktive Abfälle (5 % der Gesamtmasse) können aufgrund ihrer speziellen Verpackung und Transportdistanz (300 bis 400 km) eine 2- bis 6-mal höhere Umweltwirkung haben als konventionelle Abfälle. Eine vertiefte Studie für zukünftige Entwicklungen ist im Gange. Hinsichtlich der radiologischen Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit, zeigt der Vergleich zwischen den LCA-Ansätzen und den klassischen Methoden der Risikobewertung, dass die während der 15 Jahre des Rückbaus maximal vom Publikum aufgenommene Dosis 11,6 µSv beträgt: also 400-mal geringer ist als die durchschnittliche jährliche Strahlenbelastung in Frankreich, die bei 4,5 mSv liegt.

Dezentrale Energiesysteme mit intermittierenden erneuerbaren Energien und grünem Wasserstoff

In der Stadt Offenburg wurde eine LCA von 28 Szenarien zur jährlichen Strom- und Wärmeversorgung von städtischen Gebäuden durchgeführt. Diese Szenarien sind in vier Infrastrukturfamilien unterteilt – je nach Integration von Photovoltaik (PV), Windkraft (WT) und Batterie (BAT). Szenarien mit PV führen zu einer erheblichen Stromüberproduktion im Verhältnis zum Wärme- und Strombedarf der Gebäude (bis zu 99 % des erzeugten Stroms). Dies kann einerseits vermiedene Umweltauswirkungen bewirken, wenn damit Strom aus dem aktuellen deutschen Strommix ersetzt wird, andererseits aber auch Netzinstabilitäten verursachen. Die Art und Weise, wie diese Überproduktion berücksichtigt wird (Systemgrenzen), beeinflusst die ökologische Bewertung der Szenarien maßgeblich. CO₂ ist nicht der einzige relevante Umweltfaktor – auch andere Wirkungen müssen berücksichtigt werden. Die Studie empfiehlt eine breitere Palette vergleichbarer Szenarien.

Cette partie du projet étudie les impacts environnementaux de la transition énergétique dans le Rhin supérieur via l'analyse du cycle de vie (ACV). Celle-ci quantifie les impacts d'un système, de l'extraction des ressources à la fin de vie, en limitant les angles morts.

Démantèlement de la centrale nucléaire de Fessenheim

Une étude ACV pilote a permis de montrer que la découpe thermique des métaux était un des processus le plus impactant sur site (62–99 %) et une grande source d'incertitude. Les déchets radioactifs (5 % de la masse totale) peuvent avoir un impact 2 à 6 fois supérieur aux déchets conventionnels, en raison de leur conditionnement et distance de transport spécifique (300–400 km). Une étude prospective approfondie est en cours. Pour les impacts radiologiques sur la santé humaine, la comparaison entre les approches ACV et les méthodes classiques d'évaluation des risques montre que la dose maximale reçue par le public pendant les 15 ans de démantèlement est de 11,6 µSv, c'est-à-dire 400 fois plus faible que l'exposition annuelle moyenne en France, qui est de 4,5 mSv.

Systèmes énergétiques décentralisés via renouvelables intermittents et hydrogène vert

Nous avons réalisé l'ACV de 28 scénarios portant sur l'approvisionnement annuel en électricité/chaleur de bâtiments de la ville d'Offenbourg. Ces derniers sont répartis en 4 familles d'infrastructure selon la présence de photovoltaïque (PV), éolien (WT), batterie (BAT). Les familles de scénarios contenant du PV sont associées à une surproduction d'électricité très importante par rapport aux besoins thermiques et électriques des bâtiments (jusqu'à 99% de l'électricité produite), ce qui peut mener à des impacts évités si cela remplace de l'électricité du mix allemand actuel, mais aussi des instabilités du réseau électrique. La manière de prendre en compte cette surproduction (frontières d'évaluation) détermine le classement environnemental des scénarios. L'impact CO₂ n'est pas le seul impact environnemental significatif : les autres doivent aussi être considérés. L'étude appelle à un plus large éventail de scénarios comparés.

Dr. Ing. Paul Robineau



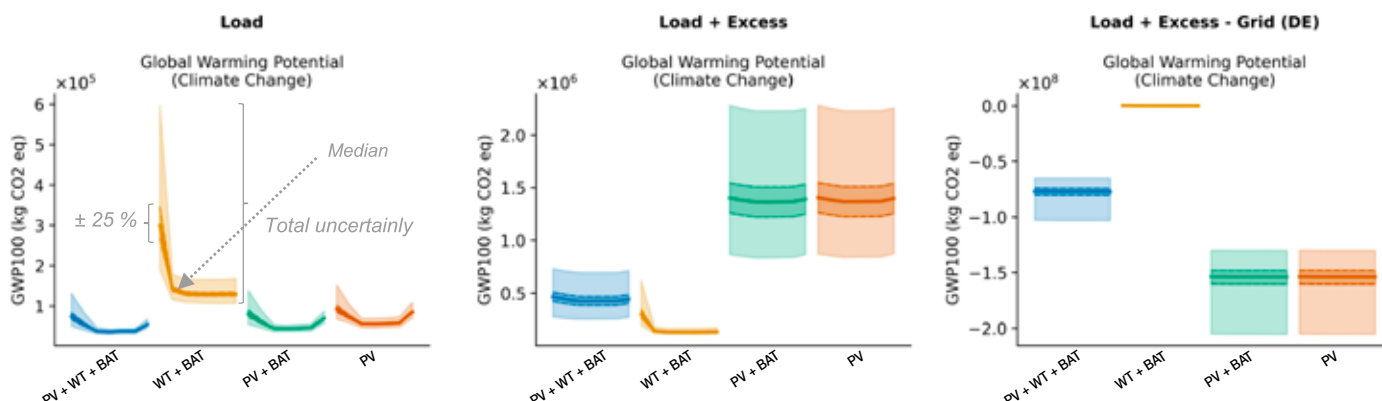
Postdoctoraler Forscher am Interdisziplinären Hubert-Curien-Institut (IPHC), CNRS / Universität Straßburg
Chercheur postdoctoral à l'Institut pluridisciplinaire Hubert Curien (IPHC), CNRS / Université de Strasbourg

„Der Transitionsbegriff bei der Energiewende muss sowohl die Berücksichtigung des Alten als auch die Antizipation des Neuen umfassen. Eine Lebenszyklusanalyse ermöglicht es, Problemverlagerungen zu vermeiden, also die Minimierung einer Umweltwirkung nicht auf Kosten der Verstärkung einer anderen zu bewirken“.

« La notion de transition doit englober la prise en charge de l'ancien au même titre que l'anticipation du nouveau. L'analyse du cycle de vie permet d'éviter le déplacement de problèmes, c'est-à-dire minimiser un impact environnemental au coût de l'augmentation d'un autre ».

Diese Grafiken zeigen die Umweltauswirkungen von Energiesystemen mit intermittierenden erneuerbaren Energien und grünem Wasserstoff. Alle Szenarien und Erklärungen über den QR-Code auf Seite 12.

Ces graphiques présentent les impacts environnementaux de systèmes énergétiques à renouvelables intermittents et hydrogène vert. Tous les scénarios et commentaires via le QR code page 12.



Die Arbeitsgruppen des Interreg-Projektes CO2InnO



Les groupes de travail du projet Interreg CO2InnO

Arbeitsgruppe 1 – Koordination und Kommunikation. Synthese der Projektergebnisse
Groupe de travail 1 – Coordination et communication. Synthèse des résultats du projet

Arbeitsgruppe 2 – Demonstration einer emissionsfreien Kraft-Wärme-Kopplung durch grünen Wasserstoff und einer intelligenten Steuerung
Groupe de travail 2 – Production combinée de chaleur et d'électricité sans émissions à l'aide d'hydrogène vert et d'un contrôle intelligent

Arbeitsgruppe 3 – Demonstration nachhaltiger Mobilität durch die Ökostromerzeugung
Groupe de travail 3 – Démonstration d'une mobilité durable grâce à la production d'électricité verte

Arbeitsgruppe 4 – Rechtlich-administrative Begleitanalyse
Groupe de travail 4 – Analyse d'accompagnement juridico-administrative

Arbeitsgruppe 5 – Begleitanalyse: Integrative Akzeptanzforschung
Groupe de travail 5 – Analyse d'accompagnement : recherche intégrative sur l'acceptation

Arbeitsgruppe 6 – Multidisziplinäre Bewertung der Cybersicherheit in Energiesystemen
Groupe de travail 6 – Évaluation multidisciplinaire de la cybersécurité dans les systèmes énergétiques

Arbeitsgruppe 7 – Bewertung der Gesamtumweltauswirkungen für die Entwicklung von CO₂-armen Energielösungen
Groupe de travail 7 – Évaluation de l'impact environnemental global pour le développement de solutions énergétiques bas carbone



Ergänzende Informationen zu den in der Revue veröffentlichten Texten (Fotos, Anmerkungen usw.) finden Sie auf der Webseite von TRION-climate e.V. Für weitere Auskünfte zu den Projektergebnissen wenden Sie sich bitte direkt an die beteiligten Partner. Des informations complémentaires aux textes publiés dans la revue (photos, notes, etc.) sont disponibles sur le site de TRION-climat. Pour toute précision sur les résultats, il convient de s'adresser directement aux partenaires concernés.

<https://trion-climate.net/energie-vis-a-vis>



Projektpartner:
Partenaires du projet:



In der vorliegenden Revue wird für Personenbezeichnungen aus Gründen der Lesbarkeit in der Regel die männliche Form verwendet. Entsprechende Begriffe gelten im Sinne der Gleichbehandlung grundsätzlich für alle Geschlechter. Die verkürzte Sprachform hat nur redaktionelle Gründe und beinhaltet keine Wertung.

Pour des raisons de lisibilité, la forme masculine est généralement utilisée dans la présente revue pour désigner des personnes. Par souci d'égalité de traitement, les termes correspondants s'appliquent en principe à tous les sexes. La forme linguistique abrégée n'est utilisée que pour des raisons rédactionnelles et n'implique aucun jugement de valeur.



Fabrikstraße 12 +49 (0)7851 4842580
DE - 77694 KEHL info@trion-climate.net

TRION-climate e.V. – Trinationales Netzwerk der Energie- und Klimaakteure am Oberrhein
 Eintragung im Vereinsregister des Amtsgerichtes Freiburg, Register-Nummer 701243
 TRION-climate e.V. – Réseau trinationale des acteurs énergie-climat dans le Rhin supérieur
 Inscrit au registre des associations du Tribunal de Freiburg, Numéro de registre 701243

Alle Rechte sind TRION-climate e.V. vorbehalten. Die Verwendung von Auszügen der Revue ist nur mit Angabe der Quelle gestattet.
 Tous les droits sont réservés à TRION-climate e.V. L'utilisation des extraits de la revue n'est autorisée qu'avec la mention de la source.

Finanzielle Unterstützung
Soutiens financiers

