



ZUSAMMENFASSENDE BERICHT

Machbarkeitsstudie Innovationsregion Fessenheim
2021 – 2022

Herausgegeben von Barbara Koch

Hauptautoren

Barbara Koch
Zeina Najjar

Matthias Vetter
Ingo Krossing

Maximilian Schmucker
Thomas Jordan

Loic Tachet
Alain Dieterlen

Dominique Badariotti
Fanny Greullet



Gefördert durch



Präambel

Das 2019 verabschiedete Projekt zur Zukunft des Raums Fessenheim verfolgt die „gemeinsame Zielsetzung, zu einem europäischen Raum für eine CO2-arme Wirtschaft zu werden, dessen Grundlage Spitzenleistungen und Innovationen sind, die Arbeitsplätze schaffen und für Wertschöpfung sorgen und an dem sich Bürger, Unternehmen und Akteure aus der Forschung und den Institutionen beteiligen“.

Vor diesem Hintergrund haben der französische Staat, die Region Grand Est, die Bundesrepublik Deutschland und das Land Baden-Württemberg die Durchführung der Machbarkeitsstudie „Innovationsregion Fessenheim“ unterstützt.

Diese Untersuchung wurde von dem Europäischen Verbund für territoriale Zusammenarbeit (EVTZ) EUCOR – The European Campus, in Abstimmung mit dem Forschungscluster Nachhaltigkeit am Oberrhein durchgeführt.

Hiermit danken der französische Staat, die Region Grand Est, die Bundesrepublik Deutschland und das Land Baden-Württemberg allen wissenschaftlichen Teams für die Durchführung dieses weitreichenden Projekts, sowie den Wirtschaftsakteuren für ihren Beitrag. Sie erkennen den hohen Wert der multidisziplinären Arbeit an, die innerhalb der letzten 18 Monate geleistet wurde.

Die Studie, Empfehlungen und beschriebenen Pilotprojekte sind das Ergebnis einer Zusammenarbeit von Experten. Sie werden den Entscheidungsträgern, Finanzierungspartner der Studie, vorgestellt, ohne den französischen Staat, die Region Grand Est, die Bundesrepublik Deutschland oder das Land Baden-Württemberg zu binden. Sie bilden die Grundlage für weitere Überlegungen für die zukünftigen Diskussionen zwischen den Institutionen und Partnern der Region Oberrhein. Im Rahmen der politischen Leitlinien der jeweiligen Finanzierungspartner können die Schlussfolgerungen der Studie, in Verbindung mit der Wirtschaftswelt, zur Umgestaltung des Raumes Fessenheim beitragen.

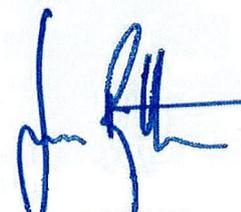
Französische Republik

La préfète

Josiane CHEVALIER

Präfektin der Region Grand Est, Präfektin des Bas-Rhin

Region Grand Est


Jean ROTTNER

Präsident der Region Grand Est

Bundesministerium des Innern und für Heimat


Jörn Thießen

Leiter der Abteilung Heimat, Zusammenhalt und
Demokratie

Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kunst Baden-Württemberg



Dr. Hans J. REITER
Ministerialdirektor



Die Grundidee der Machbarkeitsstudie ist das Identifizieren durchführbarer Transformationspfade für die Energiewirtschaft, verbunden mit einer nachhaltigen zukunftsorientierten Industrie, der Einbindung einschlägiger Studien, Wissenschaftspartner und Stakeholder aus der Gesellschaft, der Industrie und Wirtschaft.

Barbara Koch

Inhalt

01.	Einführung	3
02.	Regionale und lokale Stärken für die Innovationsregion Fessenheim	5
03.	Potenziale für erneuerbare Energien in der Oberrheinregion	6
04.	Grüne Batterien durch Material- und Kreislaufwirtschaft	9
05.	Multimodaler Wasserstoff-Hub Fessenheim	10
06.	Intelligente Stromnetze	14
07.	Territorialer Rahmen	17
08.	Schlussfolgerung	20

01. Einführung

Die Notwendigkeit einer nachhaltigen Entwicklung hat den umweltpolitischen Diskurs im 21. Jahrhundert dominiert und ihn zu einem übergreifenden politischen Paradigma gemacht (Komiya; Takeuchi, 2006; Spangenberg, 2011). Im Laufe der Zeit stand die Rolle einschneidender und systemischer Innovationen bei der Erreichung der Ziele der nachhaltigen Entwicklung im Vordergrund (Boons et al., 2013).

Die Machbarkeitsstudie "Innovationsregion Fessenheim" geht von einem ähnlichen Ethos der nachhaltigen Innovationen aus. Im Mittelpunkt der Studie steht die Entwicklung einer Pilot-Innovationsregion auf der Basis innovativer, neuer Technologien zur Erreichung von Emissionsneutralität und Nachhaltigkeit im Energiesystem sowie zur Förderung der lokalen Wertschöpfung und Arbeitsplatzschaffung. Auf der Grundlage einer bilateralen Verständigung soll die Machbarkeitsstudie ein Modell für die grenzüberschreitende europäische Regionalentwicklung ausarbeiten. Die Studie schlägt Ideen für Demonstrationsprojekte - in den Bereichen "Grüne Batterien", "Grüner Wasserstoff" und "Intelligente Stromnetze" - vor und beleuchtet die Verflechtungen und wechselseitigen Vorteile ihrer möglichen Umsetzung (siehe Abbildung 1).

Mit einem interdisziplinären und praxisorientierten Ansatz zielt die Machbarkeitsstudie darauf ab, gemeinsam mit Partnern und Akteuren aus Wissenschaft, Wirtschaft, Politik, öffentlicher Verwaltung und Zivilgesellschaft die Defossilisierung des Energiesystems und damit der Wirtschaft in der Region voranzutreiben. Um eine übergreifende Koalition zu bilden, nutzt das Projekt die im Oberrheincluster für Nachhaltigkeitsforschung (URCforSR) vorhandenen Kompetenzen ebenso wie die einzelner Forschungsinstitute und Hochschulverbände, wie Eucor - The European Campus und TriRhenaTech. Der Hauptschwerpunkt und die Stärke der Studie liegen darin, das breite wissenschaftliche Wissen und Fachwissen im Oberrheintal mit dem praktischen Wissen von Industrie und gesellschaftlichen Akteuren zusammenzubringen. Als Ergebnis früherer trinationaler Studien (RES-TMO, Smart Meter, SumoRhine) und der „Projet de Territoire“-Studie wurden vier wichtige Elemente für die Entwicklung der Innovationsregion ermittelt:

1. Die Demonstration neuer technologischer Konzepte im Zusammenhang mit nachhaltiger Energieinnovation durch regionale Living Labs, die den Bürgern in Zukunft greifbare Ergebnisse liefern können.
2. Die Verbindung zwischen dem in der Region vorhandenen wissenschaftlichen Know-how und den industriellen Investitionen durch Transformations- und Innovationszentren.
3. Die Entwicklung von Konzepten zur Integration der Bereiche Ausbildung, Weiterbildung und Lehre zur weiteren Stärkung der Modellregion.

4. Die Initiierung eines Diskurses mit den verschiedenen Gemeinden in der Region über die Vision des Projekts und der konkreten Innovationspiloten sowie Berücksichtigung ihrer Beiträge.

Zusammen bilden die oben genannten Elemente die Säulen für die Entwicklung einer grenzüberschreitenden Innovationsregion und tragen zur Hauptidee der Machbarkeitsstudie bei.

Leitgedanke der Machbarkeitsstudie ist es, unter Einbeziehung relevanter Studien, Wissenschaftspartner und Stakeholder aus Gesellschaft und Wirtschaft, tragfähige Transformationsfelder für die Innovationsregion zu identifizieren, die unter Berücksichtigung des gesamten regionalen Primärenergieverbrauchs eine Transformation hin zu einem zukunftsorientierten Industrie- und Energiemarkt einleiten. Konkret ist die Vision der Studie das Errichten:

- Einer grenzüberschreitenden europäischen Innovationsregion durch die Vernetzung regionaler Akteure aus Wissenschaft, Wirtschaft und Gesellschaft
- Eines europäischen Vorbilds (Living Lab) als Beispiel für einen gesellschaftlichen und industriellen Wandel hin zur Nachhaltigkeit

Zu diesem Zweck wurden nach einer Analyse der regionalen Vorzüge des Oberrheins und der Innovationsregion Fessenheim Entwicklungsfelder identifiziert, die den Anforderungen der im „Projet de Territoire“ hervorgehobenen politischen Forderungen entsprechen. Die im „Projet de Territoire“ beschriebenen politischen Ziele sind eingebettet in die europäischen, nationalen und regionalen Ziele zur Erreichung von Nachhaltigkeit und Klimaneutralität.

Neben den Transformationszielen in Richtung Nachhaltigkeit und Klimaneutralität hat das „Projet de Territoire“ postuliert, dass mit der Schaffung von Technologie-Innovationszentren in der Region folgende Punkte Berücksichtigung finden sollen:

- Zukunftsorientierte Beschäftigung
- Innovationsindustrien
- Grenzüberschreitende Bildung und Ausbildung
- Beteiligung der Bürger

Indem die postulierten Ziele des „Projet de Territoire“ mit den regionalen Vorzügen des Oberrheins und der Innovationsregion Fessenheim verknüpft werden, basieren die Ideen für die Entwicklung von Pilotprojekten als Best-Practice-Beispiele auf vier Kompetenzgruppen. Drei Kompetenzgruppen werden als technologische Innovationshubs eingestuft:

1. Innovationshub für grüne Batterien und Kreislaufwirtschaft von Batterien
2. Innovationshub für Grünen Wasserstoff
3. Innovationshub für intelligente Stromnetze

Darüber hinaus untersucht die vierte Kompetenzgruppe "territoriale Rahmenbedingungen" die ökologischen, gesellschaftlichen, regulativen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen für die Umsetzung der Innovationshubs aus den drei Kompetenzgruppen (Abbildung 1).

CO₂-neutral energy and transportation concept

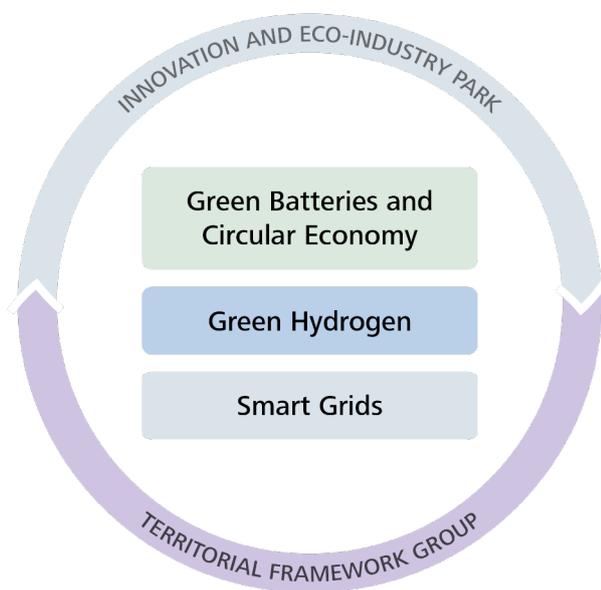


Abbildung 1. Innovationsfelder für die Entwicklung von Best-Practice-Beispielen eingebettet in territoriale Rahmenbedingungen und angesiedelt in Innovations- und Öko-Industrieparks.

Ein weiterer zentraler Gedanke ist, dass die ausgewählten technologischen Innovationshubs miteinander verbunden und korreliert sind, so dass diese für eine erfolgreiche und nachhaltige regionale Transformation gleichzeitig ausgeführt werden müssen. Genauer gesagt ist die Verbindung zwischen Batterien und Grünem Wasserstoff von großer Bedeutung für die gesamte regionale Transformation, da sie sich in Bezug auf die Implementierung eines Speichersystems für volatile erneuerbare Energien, die Stabilisierung des Netzes und den Beitrag zu Verkehrs- und Industrieprozessen ergänzen. Die unterschiedliche Zeitlichkeit bei der Energiespeicherung und die verschiedenen Transportmöglichkeiten bieten komplementäre Sicherheit und Flexibilität im Energiesystem (Specht et al., 2004). Was beispielsweise industrielle Anwendungen betrifft, so sind Batterien in ihrer Anwendung zur Energieversorgung flexibel, aber nicht so sehr für energieintensive Prozesse geeignet, während Grüner Wasserstoff in energieintensiven industriellen Prozessen besonders effizient und energiesparend eingesetzt werden kann. Im Verkehrsbereich hingegen, können Batterien im Personenverkehr gut eingesetzt werden, während Grüner Wasserstoff im Schwerlastverkehr mit Schiffen, Zügen oder Schwertransport auf der Straße, den Batterien überlegen sein könnte. Darüber hinaus ist die Anpassung des Stromnetzes an die erneuerbaren Energien notwendig, um den Anteil der erneuerbaren Energiequellen zu erhöhen. Die innovativen Anwendungen, die in den Innovationszentren für Batterien und Grünem Wasserstoff beschrieben werden, können dies unterstützen, da sie beide zu einer ausreichenden und zeitnahen Stromversorgung durch ihre Speichermöglichkeiten beitragen können.

Vor diesem Hintergrund wird in den folgenden Kapiteln auf die lokalen Vorzüge der Region Fessenheim eingegangen und ein Überblick über die Themen, Forschungsarbeiten und Empfehlungen der einzelnen Kompetenzgruppen gegeben, um die vollständige Umsetzung der vorgeschlagenen und sich ergänzenden Pilotprojekte zu unterstützen.

02. Regionale und lokale Stärken für die Innovationsregion Fessenheim

Wie in der Einleitung bereits erwähnt, basieren die Themen der Kompetenzgruppen auf den politischen Zielen und regionalen Vorzügen der Innovationsregion Fessenheim. In diesem Kapitel wird ein Überblick über die regionalen Vorzüge gegeben.

Die Innovationsregion Fessenheim liegt in das Oberrheingebiet, einer geographisch vielfältigen Region im Dreiländereck Frankreich, Schweiz und Deutschland eingebettet. Der Rhein ist der Hauptverkehrsweg der Region und bildet ihre natürliche Grenze. Die Region ist geprägt durch das Rheintal, das im Westen von den Vogesen und im Osten vom Schwarzwald umschlossen wird. Am südlichen Rand befinden sich die Ausläufer des Juras in der Schweiz. Die tri-nationale Metropolregion wird von mehr als sechs Millionen Menschen bewohnt (Jung et al., 2012) und verfügt über eine starke Wirtschaftsleistung (272 Mrd. BIP/Jahr) (Regierungspräsidium Freiburg, n.d.). Direkt an den Raum Fessenheim schließt eine gut vernetzte Verkehrsinfrastruktur an, die drei europäische Verkehrskorridore, die gut ausgebauten europäischen Gaspipelines und das europäische Hochspannungsnetz umfasst (EC DG Mobility and Transport access 27.02.2022).

Die Oberrheinregion eignet sich aus mehreren Gründen als Innovationsdrehscheibe in den oben genannten Bereichen. In erster Linie verfügt die Region über ein hohes wirtschaftliches Potenzial, das sich in einem BIP von 272 Mrd. EUR/Jahr niederschlägt – mehr als das von Finnland und Irland zusammen (Regierungspräsidium Freiburg, o.J.). Darüber hinaus fördert die vorhandene industrielle Infrastruktur in der Region die Entwicklung kleiner und mittlerer Unternehmen (Interreg Oberrhein, 2019). Da die grenzüberschreitenden industriellen Aktivitäten stark ausgeprägt sind, können gemeinsame grenzüberschreitende Investitionsprojekte einen großen Mehrwert schaffen. Eine Studie der Europäischen Kommission schätzt, dass das Wachstumspotenzial in den Grenzregionen eine Wachstumsrate von 485 Milliarden Euro erreichen kann, wenn sie mit einem starken Abbau der rechtlichen und administrativen Barrieren einhergeht (Europäische Kommission, 2017), die für einen Verlust von 3% des europäischen BIP verantwortlich sind (Europäische Kommission, 2017). Passenderweise liegt der Schwerpunkt dieser Machbarkeitsstudie auf barrierefreien Innovationshubs. Im Jahr 2018 gab es in der Oberrheinregion rund 3,2 Millionen Arbeitsplätze. 97.000 Arbeitnehmer pendelten in die Nachbarländer, davon 61 % aus dem Elsass und 38 % aus Baden-Baden. Die Zahl der Grenzpendler ist im Vergleich zu 2008 um 12 % gestiegen (Oberrheinkonferenz, 2020).

Laut der Studie über grenzüberschreitende Regionen des Berichts 2017 der Europäischen Kommission (EK) kann die Zahl der Beschäftigten durch gemeinsame Investitionen gesteigert werden. Tatsächlich überschreiten nur 2 % der

EU-Bürgerinnen und -Bürger die nationalen Grenzen innerhalb der EU, aber 66 % der Bürgerinnen und Bürger entlang der Grenzregionen überschreiten regelmäßig die nationalen Grenzen innerhalb ihrer Region (Europäische Kommission, 2017). Das Potenzial für die Entwicklung neuer Arbeitsplätze in europäischen Grenzregionen wurde in dem in 2017 veröffentlichten Bericht der Europäischen Kommission auf acht Millionen geschätzt. Daher sind die Grenzregionen wichtig für die komplementäre, horizontale europäische Integration.

Die Stärken der Oberrheinregion, die zur nachhaltigen Transformation und zum Wachstum der Region sowie zum Mehrwert für die Gesellschaft und die Wirtschaft beitragen können, sind die folgenden:

Erstens: Die chemische und pharmazeutische Industrie ist für die Schaffung von Arbeitsplätzen und die Wertschöpfung von großer Bedeutung. Um global wettbewerbsfähig zu bleiben, ist es jedoch dringend erforderlich, diese regionale Industrie in eine energieeffizientere Industrie mit weniger CO₂-Emissionen umzuwandeln. Zu diesem Zweck muss der Transfer innovativer Technologien an Unternehmen auf der Grundlage von Best-Practice-Beispielen verstärkt werden.

Zweitens: Der Oberrhein darf sich vielversprechende Investitionen im Verkehrssektor, im Energiesektor oder bei der Schaffung einer Kreislaufwirtschaft nicht entgehen lassen. Was beispielsweise den Verkehrssektor betrifft, so hat die Region ein großes Verkehrs- und Handelsvolumen; daher könnten Emissionsenkungen im Verkehrssektor eine große Wirkung haben und zur Klimaneutralität beitragen. Darüber hinaus ist die Oberrheinregion eng mit der Automobilindustrie verbunden und verfügt über die entsprechenden Technologien und Innovationen, die die Umstellung des Verkehrssektors auf Klimaneutralität unterstützen (einschließlich der Komponenten für die Automobilherstellung). Mit den neuesten klimaneutralen Trends Schritt zu halten, ist auch für die Schaffung von zukunftsorientierten Arbeitsplätzen in der Region von großer Bedeutung.

Drittens: Die Oberrheinregion hat eine zentrale Lage in Europa und verfügt über zahlreiche zuverlässige Verbindungen und Routen, die einen multimodalen und effizienten Warentransport ermöglichen. Die regionale Verkehrsinfrastruktur umfasst: die bestehenden Verkehrskorridore Rhein-Alpen, Atlantik und Rhein-Donau, die an die führenden europäischen Seehäfen Rotterdam - Genua - Marseille (Rhone-Schifffahrtsroute) und die weiter unten in Richtung Schwarzes Meer gelegenen Donauhäfen anbinden. Des Weiteren bestehen entlang der Verkehrskorridore wichtige Eisenbahn- und Autobahninfrastrukturen, die auch als Verbindung zwischen den Schifffahrtsrouten dienen. Die wichtigsten Verkehrsverbindungen am Oberrhein sind die Nord-Süd-Verbindungen, die entsprechend

des Berichtes der Hafenverwaltung in Kehl (Hafenverwaltung Kehl, 2015) hervorragende Bedingungen für das Be- und Entladen der Häfen bieten. Außerdem befinden sich wichtige europäische Gaspipelines und Stromleitungen in dem Gebiet. Diese Anlagen sind vorhanden und können bei Bedarf für den Transport von grünem Strom oder Grünem Wasserstoff in Zukunft von Norden nach Süden oder bezüglich Strom über das europäische Hochspannungsnetz in alle Richtungen angepasst werden.

Viertens: In der Region gibt es eine hohe Konzentration von Forschungs- und Bildungseinrichtungen, darunter weltweit anerkannte Institute in den Bereichen Energietechnologien und Nachhaltigkeit, sowie Universitäten und private Unternehmen, was eine große Chance für die Schaffung eines soliden Netzwerks für Innovationen bietet. Aufgrund der hohen Konzentration von Ausbildungsstätten drängt eine große Zahl gut ausgebildeter junger Menschen mit den erforderlichen Fähigkeiten auf allen Ausbildungsebenen kontinuierlich auf den Arbeitsmarkt. Daher verfügt die Oberrheinregion über reichlich Humanressourcen für einen nachhaltigen technologischen Wandel. Darüber hinaus sind die schnellen Verbindungen zwischen Österreich (täglich), Frankreich (täglich), der Schweiz (täglich), Spanien (wöchentlich), Luxemburg (wöchentlich), Belgien (wöchentlich), den

Niederlanden (wöchentlich) und Italien (wöchentlich) für junge Europäerinnen und Europäer, die in der Oberrheinregion zeitlich befristet oder vollständig arbeiten wollen, attraktiv.

Fünftens: Der Aachener Vertrag enthält Experimentierklauseln, mit denen gezeigt werden kann, wie eine erfolgreiche grenzüberschreitende Integration (CBRIS) zum Mehrwert einer gemeinsamen Innovationsindustrie beiträgt.

Zusätzlich zu den bereits erwähnten regionalen Vorzügen weisen die lokalen Stärken in und um Fessenheim, wie das Vorhandensein von Häfen, Verkehrsinfrastruktur, Industrien und deren Fabriken, auf das hohe Potenzial der Region hin, ein europäisches Vorbild für die regionale Transformation zur Nachhaltigkeit zu werden.

Der Erfolg der Umsetzung der empfohlenen Pilotprojekte in den verschiedenen Innovationsbereichen basiert jedoch auf zwei Eckpfeilern: der Tragfähigkeit eines Business Case für die ersten privaten Akteure, der Sichtbarkeit, sowie der gesellschaftlichen Unterstützung und Akzeptanz. Wenn alle diese Voraussetzungen erfüllt sind und die politische Unterstützung gegeben ist, wird die Umsetzung der empfohlenen Pilotprojekte für einen nachhaltigen, CO₂-neutralen Wirtschaftsraum möglich sein.

03. Potenziale für erneuerbare Energien in der Oberrheinregion

Im Laufe der Zeit haben die erneuerbaren Energieressourcen einen wichtigen Beitrag zur gesamten Primärenergieversorgung auf globaler Ebene zu leisten (Gernaat et al., 2021). Die Verfügbarkeit von erneuerbaren Energien wird immer mehr zu einer Voraussetzung für eine erfolgreiche Transformation durch Investitionen. Der Erfolg der Pilotimplementierung ist daher direkt mit der Verfügbarkeit von grüner Energie verbunden. Daher enthält der Bericht ein Kapitel, in dem das technische Potenzial für erneuerbare Energien in der Oberrheinregion abgeschätzt wird.

Das Europäische Parlament definiert auf seiner Website erneuerbare Energiequellen als: Windkraft, Solarenergie, Wasserkraft, Meeresenergie, geothermische Energie, Biomasse und Biokraftstoffe. Im Juli 2021 schlug die Europäische Kommission vor, den Anteil der erneuerbaren Energien am EU-Energiemix im Rahmen ihrer verbindlichen Ziele in der Erneuerbare-Energien-Richtlinie zu erhöhen und erneuerbare Kraftstoffe wie Wasserstoff zu fördern (EUROPA - Europäische Kommission, 2021). In einer Studie, die im Rahmen des Interreg-Oberrhein-Projekts "RES-TMO" durchgeführt wurde, wurde das technische Potenzial für die Erzeugung erneuerbarer Energien in der Oberrheinregion untersucht und die wichtigsten Ergebnisse werden hier wegen ihrer herausragenden Bedeutung für den gesamten Transformationsprozess aufgeführt.

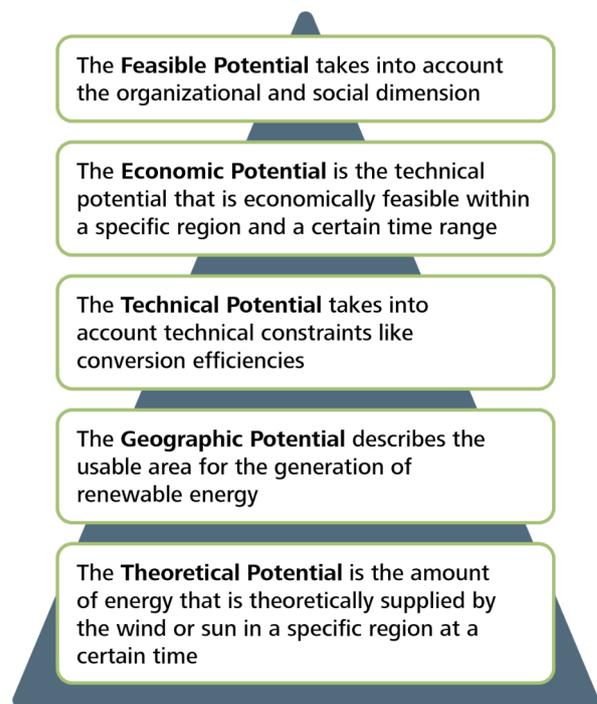


Abbildung 2: Die Potenzialhierarchie, wie sie von Jäger et al. (2016) definiert und im Rahmen des RES-TMO-Projekts angepasst wurde

Was die Schätzung des Potenzials an erneuerbaren Energien betrifft, so ist es wichtig, zunächst zu beschreiben, was mit erneuerbaren Energien (wie oben definiert) und Potenzialen gemeint ist. Die Potenzialhierarchie ist in der oben stehenden Abbildung mit den Definitionen nach Jäger et al. (2016) zu sehen. Zu den Potenzialen gehören: theoretische, geografische, technische, wirtschaftliche und realisierbare Potenziale. Die Untersuchungen im Rahmen des RES-TMO-Projekts enden auf der Ebene des technischen Potenzials, da die letzten Ebenen (wirtschaftlich und machbar) von Fall zu Fall untersucht werden müssen. Das technische Potenzial berücksichtigt die Landnutzungs-, System- und topografischen Zwänge sowie die technologischen Zwänge für Energiesysteme (Lopez et al., 2012).

Wichtige Ergebnisse

Wind: Die vorläufigen Ergebnisse zeigen, dass das technische Potenzial für die Windenergieerzeugung in der Oberrheinregion 128 TWh pro Jahr beträgt. Auf Länderebene ist das technische Potenzial der Windenergie in Frankreich und Deutschland relativ höher als in der Schweiz. Der gesamte jährliche Energiebedarf in der Oberrheinregion wurde auf etwa 212,41 TWh/Jahr geschätzt, der theoretisch zur Hälfte durch Windenergie gedeckt werden könnte. Es ist jedoch wichtig zu erkennen, dass die wirtschaftlichen und regulatorischen Bedingungen sowie die gesellschaftliche Akzeptanz der Technologie das technische Potenzial der Windenergie in der Region begrenzen und verringern, sodass realistischerweise nicht mehr als 10 % des technischen Potenzials erwartet werden kann.

Solar-Photovoltaik (PV): Die zweite wichtige erneuerbare Energiequelle in der Region ist die solare Photovoltaik. In der RES-TMO-Studie wurde das solare PV-Potenzial am Oberrhein in zwei Kategorien unterteilt: Hausdach-PV und Freiflächen-PV. Die Freiflächen-PV wurde wiederum in zwei Unterkategorien unterteilt, die von der Flächennutzung abhängen: Bodenmodule-PV und landwirtschaftliche (Agri)-PV.

1. Hausdach-PV: Im Rahmen des RES-TMO-Projekts wurde das technische Potenzial der Hausdach-PV auf 52 TWh pro Jahr geschätzt, was theoretisch etwa 24% des gesamten Energiebedarfs decken kann. Das gesamte technische Potenzial wird jedoch durch Einschränkungen, wie die Tragfähigkeit von Dächern, Abschattungseffekte und geschützte Denkmäler sowie die Bereitschaft der Bürger, in die Anlagen zu investieren, begrenzt. Die gesellschaftliche Akzeptanz für diese erneuerbare Energiequelle ist verhältnismäßig hoch (Cousse, 2021). Es wäre ein Erfolg, wenn langfristig 40% bis 50% der Dächer mit Solarzellen belegt werden könnten; dies ist jedoch nur unter besten Rahmenbedingungen möglich.

2. Freiflächen-PV: Das technische Potenzial der Freiflächen-PV wird in zwei Unterkategorien unterteilt: Agri-PV und Bodenmodule-PV. Der wesentliche Unterschied zwischen den Beiden ist, dass Agri-PV die Doppelnutzung von Ackerland für die Energie- und Nahrungsmittelproduktion berücksichtigt. Das geschätzte vorläufige technische Potenzial für Freiflächen-PV (159,5 TWh pro Jahr) ist groß, aber nur ein kleiner Prozentsatz der berechneten Nutzfläche kann mit PV-Anlagen bedeckt werden, da die Abstände zwischen den Reihen sowie ökologische und gesellschaftliche Aspekte noch nicht berücksichtigt wurden. In der Potenzialhierarchie sind die wirtschaftlichen und realisierbaren Potenziale deutlich begrenzter als das technische Potenzial. Wenn 50 % des technischen Potenzials der Solarenergie als Freiflächen-PV genutzt werden, ist ein signifikanter Beitrag von fast 80 TWh pro Jahr zum Gesamtenergiebedarf der Oberrheinregion möglich.

Wasserkraft: Eine weitere erneuerbare Energiequelle, die im Rahmen des RES-TMO-Projekts untersucht wurde, ist die Wasserkraft. Das Projekt kam zu dem Schluss, dass der Beitrag der Wasserkraft in Höhe von 13,6 TWh pro Jahr begrenzt ist, da die Wasserkraftressourcen in der Region bereits intensiv genutzt werden und nahezu erschöpft sind, wie von Energieexperten auf beiden Seiten des Rheins bestätigt wurde.

Biomasse: Biomasse wird heute zunehmend als Ersatz für fossile Brennstoffe im Verkehrs- und Energiesektor eingesetzt. Im Vergleich zu fossilen Brennstoffen hat sie den Vorteil, dass sie in Europa regional verfügbar ist und gespeichert werden kann. Letzteres ist ein Vorteil im Vergleich zu den intermittierenden erneuerbaren Energiequellen wie Wind und Sonne. Das Projekt RES-TMO stützte sich bei seiner Schätzung auf das Projekt Qui-Biomass (Schumacher et al. (Eds.), 2017), in dem das Biomassepotenzial in derselben Region eingehend untersucht wurde. Das geschätzte Biomassepotenzial von 5,2 TWh pro Jahr und ist eher begrenzt.

Geothermie: Eine weitere erneuerbare Energiequelle ist die Geothermie. Bei den geothermischen Energiequellen kann zwischen Technologien unterschieden werden, die den flachen Untergrund (10 bis 100 Meter Tiefe) nutzen und Methoden, die den tiefen Untergrund (Tausende von Metern Tiefe) für die Energiegewinnung nutzen. Die oberflächennahe Geothermie wird in der Regel zur Bereitstellung von Heiz- oder Kühlenergie genutzt, während die tiefe Geothermie sowohl zur Stromerzeugung als auch zur Raumheizung eingesetzt werden kann (Miočić, 2021). Die in der TMO-Region (Trinationale Metropolregion Oberrhein) durchgeführte Studie deutet darauf hin, dass, obwohl in der TMO-Region bereits mehrere Erdwärmepumpen installiert sind, noch viele Einfamilienhäuser in der Region mit Erdwärmepumpen geheizt und gekühlt wer-

Tabelle 2a: Geschätzter Energieverbrauch in der Oberrheinregion.

URR	Population in 2019*	Final Energy Demand in 2016 in MWh/capita**	Energy Demand in URR in MWh/yr***	Energy Demand in URR in TWh/yr***
Switzerland	1.507.718	49	73.878.182	73,88
Germany	2.858.606	26	74.323.756	74,32
France	1.888.480	34	64.208.320	64,21
Total	6.254.804		212.410.258	212,41

Tabelle 2b: Technisches Potenzial der erneuerbaren Energien in der Oberrheinregion

RE Source	Annual Potential (in TWh/yr)
Wind	128,0
Solar PV Rooftops	52,2
Solar PV Agro	91,5
Solar PV GM	68,0
Biomass	5,2
Hydropower	13,6

den könnten, insbesondere in Verbindung mit einer zukunftssicheren Niedrigenergiesanierung. Eine Erhöhung des Anteils, der in der TMO eingesetzten *Ground Source Heat Pumps (GSHPs)*, kann daher eine drastische Reduzierung der Kohlenstoffemissionen im Zusammenhang mit der Raumheizung und -kühlung ermöglichen (Miočić, 2021). Die Effizienz von geothermischen Tiefenbohrungen hängt davon ab, wie tief die heißen Fluide gefunden werden und welche Eigenschaften das Gestein hat, aus dem die Fluide gewonnen werden. Geologisch gesehen weist die TMO-Region eine hohe Wärmestromdichte auf, die zu hohen Temperaturen im verhältnismäßig flachen Untergrund führt und stellt somit eine ideale Region für die Nutzung der Tiefengeothermie dar (Harlé et al., 2019). Die gesellschaftlichen Bedenken hinsichtlich des Erdbebenrisikos müssen allerdings ernsthaft berücksichtigt werden, um die technischen Potenziale in Machbarkeitspotenziale umzuwandeln.

Tabelle 2 gibt einen Überblick über die Schätzungen des Energiebedarfs und des technischen Potenzials der erneuerbaren Energiequellen in der Oberrheinregion.

Schlussfolgerungen

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass sich das vorläufige technische Potenzial der erneuerbaren Energiequellen in der Oberrheinregion auf 358,5 TWh pro Jahr beläuft. Theoretisch könnte der gesamte jährliche Energiebedarf des Oberrheins gedeckt werden, ohne dass das geothermische Potenzial schon berücksichtigt ist.

Das technische Potenzial wird in hohem Maße durch Faktoren wie Landnutzungskonkurrenz für die Nahrungsmittelproduktion, Umweltauswirkungen, landschaftliche Aspekte, gesellschaftliche Akzeptanz, wirtschaftliche Rahmenbedingungen, Vorschriften und andere begrenzt. Für konkrete Planungen muss wie bereits erwähnt, eine realistischere Einschätzung, bezogen auf das wirtschaftliche und das machbare Potenzial umgesetzt werden. Das technische Potenzial unterstützt jedoch die Entwicklung besserer Rahmenbedingungen und Freiräume zur effektiven Nutzung der Potenziale durch einen integrativen Ansatz mit starker Beteiligung von Bürgern und Unternehmen. Basierend auf diesem Wissen über die Potenziale für erneuerbare Energien in der Oberrheinregion wurden die Pilotideen innerhalb der definierten Felder für Innovationszentren entwickelt und ihre Ergebnisse werden in den nächsten Kapiteln vorgestellt.

04. Grüne Batterien durch Material- und Kreislaufwirtschaft

Die für den Aufbau einer Kreislaufwirtschaft von Materialien für Lithium-Ionen-Batterien erforderlichen Pilotanlagen werden im Folgenden vorgestellt. Die Verbindungen (siehe Abbildung 3) zwischen diesen Pilotanlagen, sowie die Verbindungen zu den von den anderen Kompetenzgruppen vorgeschlagenen Pilotanlagen, werden hervorgehoben. Darüber hinaus werden die spezifischen Vorteile, welche die jeweiligen Pilotanlagen in der Region Fessenheim unterstützen, diskutiert.

Lithium-Ionen-Batterien spielen eine entscheidende Rolle bei der Verwirklichung eines nachhaltigen und kohlenstoffneutralen Energiesektors. Da die Lithium-Ionen-Batterie derzeit die am weitesten entwickelte fortschrittliche Batterietechnologie ist, wird sie vor allem in Elektrofahrzeugen (EV) eingesetzt. Betrachtet man die in Abbildung 4 dargestellte Prognose für veraltete Batterien, so lässt sich feststellen, dass die Umsetzung einer Kreislaufwirtschaft für Lithium-Ionen-Batterien bei möglichen Pilotanlagen in der Region Fessenheim Vorrang haben sollte.

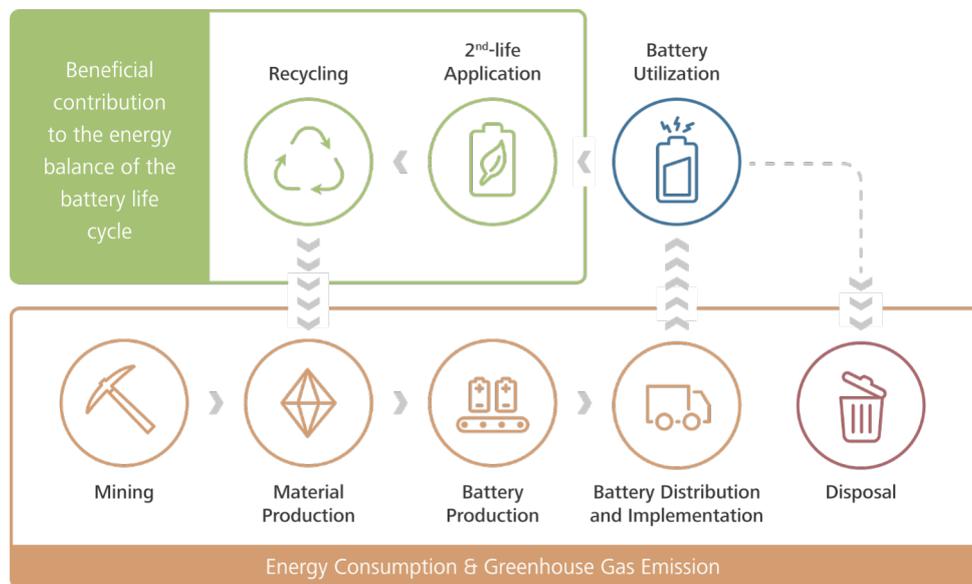


Abbildung 3: Lebenszyklus einer Batterie (Dühnen et al., 2020)

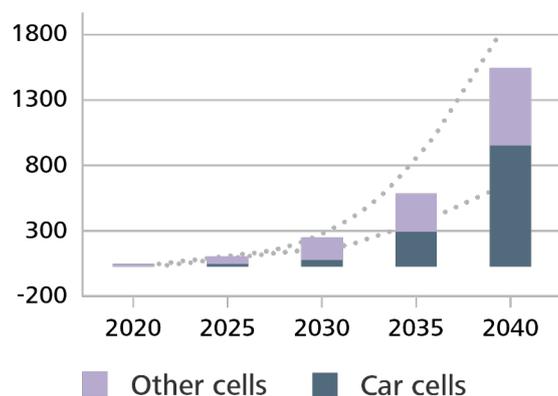


Abbildung 4: Prognose der LIBs-Recyclingströme in kt (hoch und niedrig) bis 2040 (in Anlehnung an Neef et al., 2021)

¹Die Kreislaufwirtschaft (Circular Economy, CE) ist ein regenerativer Ansatz, der auf die Verringerung von Abfällen abzielt und die ökologische Nachhaltigkeit von Produkten nach ihrer Nutzung gewährleisten soll (Mossali et al., 2020).

Um eine Kreislaufwirtschaft, wie in Abbildung 3 dargestellt, zu etablieren, schlägt die Kompetenzgruppe (CG) Green Batteries vor, sich auf die folgenden Bereiche in Fessenheim und dem Oberrhein zu konzentrieren:

- Herstellung von Hochleistungsbatteriematerialien mit geringem ökologischem Fußabdruck unter Verwendung neuer und wiederverwendeter Materialien
- Qualifizierung von gebrauchten Elektrofahrzeugbatterien für eine mögliche Second Life-Nutzung
- Installation eines elektrischen Energiespeichers mit der Integration von Second Life Elektrofahrzeugbatterien
- Entwicklung einer innovativen Demontage- und Recyclinganlage für Batterien am Ende ihrer Lebensdauer

Auf der Grundlage der vorgenannten Punkte wurden drei Hauptpiloten ermittelt:

- **Pilotprojekt 1:** Infrastruktur für die Zweitverwertung von Elektrofahrzeugbatterien, bestehend aus zwei Pilotanlagen - einem Qualifizierungszentrum für Second Life Elektrofahrzeug-Batteriesysteme und einer Hybrid-Energiespeicheranlage (EES), die mit Second Life Elektrofahrzeug Batterien ergänzt wird.
- **Pilot 2:** Infrastruktur für die Demontage und das Recycling von Batterien, bestehend aus zwei Pilotanlagen - einer Anlage für die Demontage von Batterien, einschließlich Diagnose und einer Anlage für das Recycling von Batteriematerialien
- **Pilot 3:** Eine Fabrik für Hochleistungsbatteriematerialien

Es ist wichtig darauf hinzuweisen, dass nur ein ganzheitlicher Ansatz für alle Pilotanlagen zu den gewünschten Synergieeffekten und den hohen wirtschaftlichen und ökologischen Vorteilen führt. Die vorgeschlagenen Anlagen ergänzen sich gegenseitig und bieten erhebliche Geschäftsmöglichkeiten. Wenn nicht alle vorgeschlagenen Anlagen in unmittelbarer Nähe zueinander errichtet werden, führt dies zu einem geringeren Nutzen für die Region und beeinträchtigt ihre Wettbewerbsfähigkeit in der Kreislaufwirtschaft für Batterien.

Die vorgeschlagenen integrierten Pilotanlagen weisen zahlreiche Verbindungen auf, die hauptsächlich den Austausch von Materialien und technologischem Know-how betreffen. Darüber hinaus würden alle diese Anlagen stark von der bestehenden Verkehrsinfrastruktur der Region profitieren, insbesondere von den Häfen entlang des Rheins, die einen großen Vorteil für den großräumigen

und wirtschaftlichen Transport von Erzen oder gebrauchten Batterien bieten. Das hybride *Electrical Energy Storage* EES-Pilotprojekt der Untergruppe "Second Life" könnte idealerweise an die Netzinfrastruktur am alten Standort des Kernkraftwerks angeschlossen werden, aber alternativ auch die Netzinfrastruktur anderer stillgelegter Kraftwerke nutzen. Die von der Untergruppe "Recycling" und "Batteriematerialien" vorgeschlagenen Anlagen haben einen hohen Energiebedarf, der durch erneuerbare Energiequellen gedeckt werden sollte. Das erhebliche Potenzial von erneuerbaren Energien wurde im Rahmen des RES-TMO-Projekts bewertet und in Abschnitt 3 erörtert. Zudem werden die vorgeschlagenen Pilotanlagen von den Forschungsinstituten und Universitäten der Region profitieren, da diese das erforderliche Fachwissen über Batteriematerialien liefern können. Die vorgenannten Bedingungen machen die Region zu einem idealen Umfeld für die Zusammenarbeit mit Unternehmen, die bereit sind, in solche Anlagen zu investieren. Nicht zuletzt gibt es Verbindungen zu den Pilotanlagen, die von den Kompetenzgruppen Grüner Wasserstoff und Smart-Grids vorgeschlagen und in den folgenden Abschnitten diskutiert werden. Ein Beispiel ist das selten genutzte, aber allgegenwärtige Nebenprodukt Sauerstoff, das bei der Wasserstoffsynthese anfällt und ein notwendiges Reagenz für die Herstellung von Batteriematerialien ist. Ein weiteres Beispiel ist die hybride *Electrical Energy Storage* (EES), die von der Untergruppe Second Life erdacht wurde und in ein intelligentes Stromnetz integriert werden könnte.

Zum einen bietet die Region Fessenheim günstige Voraussetzungen für die Errichtung von Pilotprojekten. Zum anderen kommen die sicheren Arbeitsplätze, die durch die geplanten Anlagen entstehen, der Region Fessenheim zugute. Im Bereich der Batterietechnologien (vor allem LIBs) gibt es keine Alternative zur Kreislaufwirtschaft, da der boomende Batteriemarkt in Zukunft zu einer Masse an veralteten Batterien führen wird. Ökologische, gesellschaftliche und wirtschaftliche Herausforderungen erfordern eine größere Infrastruktur für das Batterierecycling. Darüber hinaus, bietet das Batterierecycling weniger Abhängigkeit von außereuropäischen Rohstoffen sowie Wachstumschancen für die Wirtschaft in der Region. Wie in Abbildung 3 oben dargestellt, braucht die erwartete Entwicklung des LiB-Recyclingflusses angemessene Kapazitäten für die Weiterverwendung von Batterien, jedoch sind für das Batterierecycling die notwendigen Kapazitäten noch nicht geplant.

Empfehlungen

Um eine kreislaforientierte Batteriewirtschaft zu etablieren ist es entscheidend, die gesamte Verarbeitungslinie in der Region anzusiedeln. Daher wird empfohlen, ein Qualifizierungszentrum für Second-Life-EV-Batteriesysteme ein-

05. Multimodaler Wasserstoff-Hub Fessenheim

Der Einsatz von Wasserstoff als Energieträger bietet einzigartige Chancen für eine breitere Integration erneuerbarer Energien und eine optimierte Ressourcennutzung sowie die Schaffung zukunftsorientierter Arbeitsplätze. Seine Umsetzung sichert die Entwicklung der Region zu einem nachhaltigen und zukunftsweisenden CO₂-neutralen Wirtschaftsraum. Wasserstoff ermöglicht die saisonale Speicherung von erneuerbarem Strom und trägt durch die flexible und effiziente Kopplung der verschiedenen Sektoren zum Aufbau eines robusteren Energiesystems bei (Samsati & Samsati, 2019). Zudem sind in der Region um Chalampé und im Baselgebiet mehrere große Unternehmen angesiedelt, die Wasserstoff in ihren Prozessen einsetzen. Ein weiterer wichtiger Punkt ist, dass die Region reich an Komponenten, Projekten und regionalen Akteuren ist, die gemeinsam den multimodalen Wasserstoff-Hub bilden können und in der Lage sind die gesamte Wertschöpfungskette von der Produktion über den Vertrieb bis zur Nutzung abzudecken.

Diese Rahmenbedingungen sowie die Vielfalt und Komplementarität der Region wurden auf dem "South Rhine H2 Summit" deutlich, der im November 2021 in Biesheim (Haut-Rhin) von der Europäischen Gemeinschaft Elsass organisiert wurde. Die Ergebnisse der Studie zeigen, dass die Nachfrage der Industrie nach Grünem Wasserstoff deutlich höher ist als in anderen Sektoren. Außerdem kann der derzeit konventionell hergestellte Wasserstoff (relativ) einfach durch Grünen Wasserstoff ersetzt werden.

Daher wird vorgeschlagen, dass der Aufbau des multimodalen Wasserstoff-Hubs (siehe Abbildung 6) mit dem Aufbau von Großkapazitäten für die Elektrolyse beginnt. Der wachsende lokal verfügbare Ökostrom wird die Kosten für die Erzeugung von Grünem Wasserstoff senken. Des Weiteren könnten die Vorteile der wechselseitigen Nutzung der in der Region befindlichen Wasserkraftwerke mit Solar-PV deutlich gemacht werden, da die Wasserkraftwerke nachts und an sonnenlosen Tagen zur Stromerzeugung genutzt werden können.

Darüber hinaus werden in der Folge auch Importkapazitäten für ergänzenden Grünen Wasserstoff über den Rhein aufgebaut. Die robuste Versorgungsinfrastruktur und die Verfügbarkeit von Flüssigwasserstoff werden den Oberrhein zu einem Handelsplatz für grüne Energie machen, insbesondere in Verbindung mit dem Ausbau des containerbasierten Transports vernetzt mit einem multimodalen Transportsystem. In diesem Fall werden ideale Voraussetzungen für eine dezentralere Anwendung von Grünem Wasserstoff in der Region geschaffen, wie z.B. der Aufbau einer Flotte von Grünen Wasserstoff-Lkws für den Schwerlastverkehr oder die Dekarbonisierung des öffentlichen Verkehrs mit wasserstoffbetriebenen Bussen und Zügen. Auch eine zunehmend dezentrale Erzeugung und Nutzung von Grünem Wasserstoff sowie die Förderung

von sogenannten Wasserstoff-"Prosumern" im Agrarsektor werden die Entwicklung einer Wasserstoffregion fördern, indem sie die Wasserstofftechnologien der breiten Öffentlichkeit näherbringen und in der Region verankern.

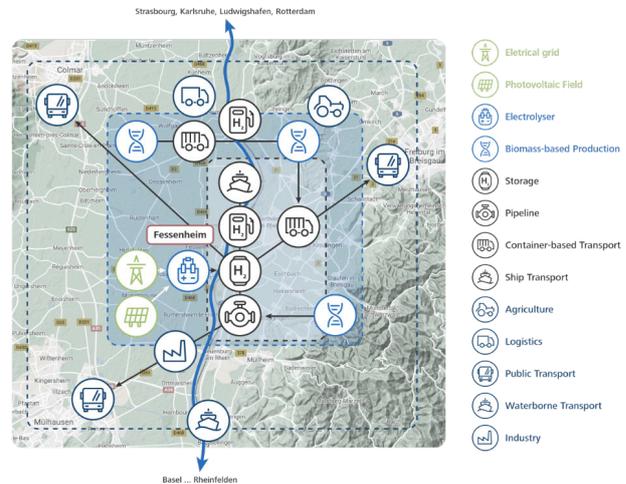


Abbildung 6: Hauptelemente des multimodalen Wasserstoff-Hubs in der Region Fessenheim

Basierend auf den oben genannten Überlegungen wird ein Multi-Modal Green Hydrogen Hub empfohlen, um die regionsspezifischen Produktions- und Anwendungsmöglichkeiten für Grünen Wasserstoff zu erkunden. Der Multi-Modal Green Hydrogen Hub soll sich auf die folgenden vier ergänzenden Pilotprojekte stützen, die die wesentlichen Merkmale eines funktionierenden Wasserstoff-Energiesystems abdecken:

1. **Pilotprojekt 1:** H2-A „Versorgung der Großindustrie mit Grünem Wasserstoff“
2. **Pilotprojekt 2:** H2-B „Virtuelle Pipeline“
3. **Pilotprojekt 3:** H2-C „Schwerlasttransport“
4. **Pilotprojekt 4:** H2-D „Dezentrale Produktion und Nutzung in der Landwirtschaft“

Empfehlungen

Zunächst empfehlen wir mit dem ersten Pilotprojekt 1 H2-A die Installation und den Betrieb einer großen 200-MW-Elektrolyseanlage in der Nähe von Ottmarsheim und dem Industriegebiet von Chalampé. Dieser Standort wird aufgrund seiner Nähe zum Industriegebiet von Chalampé und dem trimodalen deutsch-französischen Verkehrsknotenpunkt Ottmarsheim (Hafen, Eisenbahn und Autobahn) vorgeschlagen. Für eine anfängliche Leistung von etwa 30 MW wird vorgeschlagen, einen kleinen Teil der von den Wasserkraftwerken Ottmarsheim und Fessenheim (mit einer Nennleistung von jeweils 160 MW) erzeugten Elektri-

zität zu nutzen und mit einer schwimmenden Photovoltaikanlage zu kombinieren, die in den Wasserbecken dieser Kraftwerke installiert wird. Weitere schwimmende PV-Anlagen werden in einer späteren Phase auf mehreren künstlichen Kieselseen in der Umgebung vorgeschlagen. Das Elektrolyseursystem soll in der Nähe des Industriegebietes Chalampé installiert und über die bestehende Wasserstoffpipeline mit diesem Industriegebiet verbunden werden. Der gemeinsame Standort mit dem Kraftwerk Ottmarsheim ist optimal, da er den doppelten Vorteil bietet, die bestehende Wasserstoffverteilungsinfrastruktur zu nutzen und die angeschlossene Industrie schnell mit Grünem Wasserstoff zu versorgen. Schließlich sollte eine Erweiterung der lokalen Wasserstoffverteilungsinfrastruktur durch eine parallele Hochdruckleitung in Betracht gezogen werden, um die Kapazität der bestehenden Wasserstoffleitung zu erhöhen und die Versorgungsqualität zu verbessern, indem ein Druck von bis zu 100 MPa bereitgestellt wird, der für verschiedene Anwendungen, insbesondere im Verkehrswesen, von Nutzen ist (Verbindung zu Pilotprojekt H2-B und H2-C). Der hohe Druck ermöglicht kleinere und eigensichere Rohrquerschnitte und verwandelt die Pipeline in ein Zwischenspeichersystem.

Zweitens wird mit dem Pilotprojekt H2-B eine ergänzende Versorgung mit Grünem Wasserstoff über eine flexible Importoption empfohlen. Der Bau von langen Transferpipelines ist in der Regel mit enormen Kosten verbunden; außerdem sind solche Pipelines unflexible und starre Gebilde. Daher kommt das Pilotkonzept einer "virtuellen Pipeline" zum Tragen. Das Pilotprojekt H2-B schlägt den containerbasierten Batch-Transport von Wasserstoff über den Rhein vor. Mit der Containerlösung können Verluste durch den Transfer zwischen stationären und Transportbehältern vermieden werden und der nahtlose Übergang von gasförmigem Hochdruckwasserstoff zu dichterem flüssigem Wasserstoff (LH₂) wird ermöglicht. Da der containerbasierte Transport leicht von den Schifffahrtswegen auf ein multimodales Transportsystem über Schiene und Straße ausgeweitet werden kann, wird er dezentrale Anwendungen weit entfernt von den Bunkerstandorten im Industriehafen Ottmarsheim und/oder den Schifffahrtswegen von Fessenheim erschließen und die Wasserstoffverteilung flexibler, robuster und wirtschaftlicher machen. Darüber hinaus wird die Verfügbarkeit von kryogenem LH₂ als Katalysator für die weitere Erforschung, Entwicklung und Demonstration innovativer Lösungen dienen, z. B. die Verwendung von LH₂-gekühlten Supraleitern für hybride elektrische und chemische Energieübertragungsleitungen oder Speichersysteme. Über die virtuelle Pipeline am Rhein wird die Region Fessenheim direkt mit Rotterdam verbunden sein, die zum zentralen europäischen Anlandeort für LH₂ aus Übersee werden soll. Darüber hinaus wird der Import über die virtuelle Pipeline die potenzielle Versorgungslücke mit Grünem Wasserstoff, die durch die lokale Produktion entsteht, kostengünstig ausgleichen. In Anbe-

tracht dieser Punkte und mit den entwickelten Import- und Exportkapazitäten wird die Koordination der Region Fessenheim mit den verschiedenen industriellen regionalen Nachfragestandorten entlang und jenseits des Rheins möglich sein und somit als grenzüberschreitender Handelsstützpunkt für grüne Energie fungieren können.

Drittens hat die wichtige transnationale Straßeninfrastruktur, welche die Nordschweiz mit dem Grand Est in Frankreich und dem deutschen Südwesten verbindet, viele Transportunternehmen dazu veranlasst, Niederlassungen in diesem Gebiet zu betreiben. Um den beträchtlichen CO₂-Fußabdruck des regionalen Straßentransports zu reduzieren, wird mit dem Pilotprojekt H2-C empfohlen, einen On-Demand-Service zu etablieren, der Unternehmen nachhaltige, wasserstoffbasierte Transportkapazitäten anbietet. In Anlehnung an das Geschäftsmodell der Hyundai Hydrogen Mobility aus der Schweiz wird ein Dienstleistungsunternehmen eine Flotte von Wasserstoff-Lkws (anfänglich 20-30) erwerben und betreiben sowie die erforderliche Betankungsinfrastruktur aufbauen. Die Konzentration des Wasserstoffgeschäfts auf ein Dienstleistungsunternehmen wird einerseits helfen, bestmögliche Konditionen (Besteuerung, Wasserstoffpreise,...) auszuhandeln und andererseits den Kunden wirtschaftlich attraktive Pakete zu verkaufen. Entsprechend soll im Raum Ottmarsheim eine hochmoderne, LH₂-basierte Tankstelle (anfängliche tägliche Abgabekapazität von 1t, später 5t) errichtet werden. Die Station wird sich durch einen modularen Aufbau auszeichnen und soll aus einem eigenständigen, kommerziell betriebenen Teil und einem Forschungs- und Entwicklungsteil bestehen. Der kommerzielle Teil wird die Lkw-Flotte zuverlässig betanken und genügend Kapazität für kleinere Wasserstoffbusflotten bieten, die in Mühlhausen und/oder Freiburg betrieben werden, während der Forschungsteil flexible Schnittstellen und eine Infrastruktur für die Entwicklung weiterer Protokolle für die Schwerlastbetankung und für die Erprobung kritischer Komponenten wie Wärmetauscher und Dosiereinrichtungen bietet.

Viertens wird mit dem Pilotprojekt H2-D „Dezentrale Produktion und Nutzung in der Landwirtschaft“ der Einsatz von Agri-Photovoltaik (Agri-PV) zur lokalen Grünen Wasserstoffproduktion empfohlen. Der Einsatz von Agri-PV auf landwirtschaftlichen Flächen schafft direkte Vorteile für die Landwirte: Neben dem zusätzlichen Einkommen bietet Agri-PV für die Pflanzen sowohl Schutz vor direkter Sonneneinstrahlung als auch vor Sturm und Hagel (Fraunhofer ISE, 2020). Neben der Nutzung des durch Photovoltaik und Wasserkraft erzeugten Stroms wird empfohlen, die Nutzung von Biomasse für die lokale Erzeugung von Wasserstoff an einigen wenigen prototypischen Standorten weiter zu testen und zu entwickeln. Im Zusammenhang mit der Erzeugung von erneuerbarem Wasserstoff ist die Valorisierung von Biomasse ein vielversprechender

Ansatz, insbesondere wenn die Verwendung von valorisierten landwirtschaftlichen Bioabfällen vorgesehen ist. Darüber hinaus soll der Einsatz von Wasserstoff in der Landwirtschaft, vor allem in Landmaschinen mit umgerüsteten kraftstoffflexiblen Verbrennungsmotoren und in Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen mit Hochtemperatur-Brennstoffzellen, demonstriert werden. Wasserstoff kann somit neue Möglichkeiten für das Geschäftsmodell der landwirtschaftlichen Genossenschaften als Kraftstoffhändler bieten.

Wie oben dargelegt, ergänzen sich die Pilotprojekte gegenseitig, da sie sich mit unterschiedlichen Produktions- und Anwendungsbereichen befassen, verschiedene Technologien hervorheben, die für eine planmäßige Umsetzung ausgereift genug sind, und genügend Potenzial für weitere Forschung und Innovation lassen. Obwohl die Projekte prinzipiell unabhängig voneinander durchgeführt werden könnten, wird das Gesamtsystem stark davon profitieren, wenn sie gemeinsam und in der vorgeschlagenen Reihenfolge umgesetzt werden.

06. Intelligente Stromnetze

In der Erwartung, dass intelligente Stromnetze weltweit Standard für die Steuerung von Stromnetzen werden, ist es notwendig intelligente Stromnetze weiter zu entwickeln, um mit Hilfe künstlicher Intelligenz und durch technologischen Fortschritt die Erzeugung und den Verbrauch von Strom optimieren zu können. Die Vorteile von intelligenten Stromnetzen sind vielfältig: Zum einen können sie neue Informations- und Kommunikationstechnologien wie vernetzte Objekte integrieren und sind daher in der Lage, Echtzeitinformationen über Stromverbrauch und -nutzung an die Netzbetreiber (Erzeuger, Verteiler und Verbraucher) zu übermitteln (Butt et al., 2021). Durch die Bereitstellung von Echtzeitinformationen über den Energiefluss ermöglichen intelligente Stromnetze den Netzbetreibern die Kontrolle, Steuerung, Analyse und Optimierung des Energieverbrauchs. Zum anderen ist das Ziel der intelligenten Stromnetze, diese gesammelten Informationen für die Anpassung des Stromflusses zu nutzen und so energieeffizientere Netze zu gewährleisten. Außerdem sorgen intelligente Stromnetze für ein Gleichgewicht zwischen Angebot und Nachfrage und verhindern eine Überhitzung der Netze. Schließlich können intelligente Stromnetze dazu beitragen, die Lücke bei der Umstellung der Energieressourcen von fossilen Brennstoffen auf erneuerbare Energien zu schließen (Butt et al., 2021).

Generell sind sowohl die Wasserstofftechnologien als auch die grünen Batterien, für die Echtzeitanalyse des Stromverbrauchs vollständig auf intelligente Stromnetze angewiesen. Darüber hinaus ermöglichen intelligente Stromnetze die Echtzeit-Optimierung des Energieverbrauchs, die Verringerung von Energieverlusten und die Optimierung der Integration von Batteriespeicherkapazitäten in das Netz zur besseren Stabilisierung des Netzes. An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass intelligente Stromnetze uneingeschränkt für Technologien zur Nutzung erneuerbarer Energien geeignet sind, da sie durch die Integrierung verschiedener Quellen jederzeit angepasst werden können, ohne die Effizienz zu beeinträchtigen. Zudem tragen sie implizit zur Verringerung der Koh-

lenstoffemissionen bei. Es ist wichtig zu erkennen, dass ein intelligentes Strommanagement ein Schlüssel für die erfolgreiche Transformation des Energiemarktes ist (Bayindir et al., 2016).

Ziel der Kompetenzgruppe Smart-Grid ist es, das bestehende regionale transnationale Übertragungsnetz zu kartieren und Informationen über das raumbezogene Potenzial erneuerbarer Energien für die Entwicklung von Szenarien zur Wirkung auf die regionalen Energienetze zu nutzen. Darüber hinaus sollen die Potenziale des „Demand-Side-Managements“ untersucht werden, wozu es notwendig ist, mögliche Schwachstellen in der Energieverfügbarkeit zu identifizieren. Ideen zur Aktualisierung des Stromnetzverbindungskonzeptes zwischen Frankreich und Deutschland und zur Darstellung der Ausbaumöglichkeiten sind ein weiterer Schwerpunkt dieser Gruppe. Entsprechende Kartierungen und Modellierungen ermöglichen den Vergleich von technischen Alternativen beim Netz- und Anschlussausbau und unterstützen durch Hinweise zur Netzanpassung den Ausbau der erneuerbaren Energien. Die Entwicklung von diskreten Konzepten liefert auch verbesserte Ideen für die Optimierung der Übertragungskapazität bestehender Freileitungstrassen. Des Weiteren müssen die Untersuchungen zur Netzanpassung mit Analysen zur Systemsicherheit von Anlagen zur Erzeugung erneuerbarer Energie verbunden werden. Eine der größten Herausforderungen des grenzüberschreitenden Konzepts ist die Integration der fluktuierenden Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien in das europäische Stromnetz. Ziel ist es daher, ein Stromübertragungsnetz zu konzipieren und zu betreiben, das sowohl flexibel als auch an unterschiedliche Stromerzeugungsanlagen angepasst ist. Für das grenzüberschreitende Innovationskonzept im Gebiet Fessenheim ist daher die Intention, das Stromübertragungsnetz so zu gestalten und zu betreiben, dass es an die unterschiedlichen Stromerzeugungsanlagen und die Anforderungen an mehr Flexibilität im Gesamtsystem angepasst ist.

Die Analyse der Kompetenzgruppe zeigte technische Herausforderungen auf, wie z. B. die vielfältige Energienutzung, die Sicherheit und Nutzung des Stromnetzes sowie die Netzintegration der Elektromobilität und weiterer Speicherkapazitäten. Zu diesen Herausforderungen gehören auch wirtschaftliche und gesellschaftliche Aspekte, wie geeignete Wirtschaftsmodelle, soziale Akzeptanz sowie rechtliche und sicherheitsrelevante Einschränkungen.

Um die regionalen Herausforderungen besser zu verstehen, organisierte die Kompetenzgruppe zwei Arbeitsseminare und verknüpfte die Ergebnisse mit weiteren Beiträgen aus Wissenschaft, Industrie und Gemeinden. Die Ergebnisse der Seminare wurden auf Ziele eingegrenzt, die im folgenden Text näher beschrieben werden und welche die Entwicklung der Pilotideen leiteten. So wurde deutlich, dass für die Weiterentwicklung von Smart-Grid-Anwendungen das bestehende grenzüberschreitende Netz kartiert werden muss, um potenzielle Schwachstellen im Zusammenhang mit zunehmenden Anteilen erneuerbarer Energien im Netz zu identifizieren, insbesondere im Hinblick auf die Anschlüsse und Stromlasten der verschiedenen nationalen Netzsysteme für die Mittel- und Niederspannungsebene. Erstens ist eine Netzplanung für die physische Ertüchtigung des bestehenden regionalen Stromnetzes erforderlich. Zweitens ist die Einrichtung von Testumgebungen für kleinere Nachbarschaftseinheiten wie Industrieparks oder Wohngebiete erforderlich, um die Funktionsweise intelligenter Netze durch die Integration von Speicherkapazitäten, wie stationären Batterien oder E-Autos, grundlegend zu verstehen und so mehr über die Herausforderungen des intelligenten Netzmanagements zu erfahren. Schließlich müssen die Funktionalität und die Auswirkungen intelligenter Netzsysteme auf die Netzstabilisierung und das effiziente Energiemanagement als Meta-Demonstrator in einer grenzüberschreitenden Situation getestet werden, wie es der EcoRhena-Park bieten könnte.

Am Oberrhein verorten sich die etablierten industriellen Akteure, die von den Energieerzeugern bis zu den Verbraucherindustrien (Energiemanagement, Chemie, Automobil usw.) reichen. Die dort vorhandenen Ingenieurdienstleistungen stellen einen Vorteil für die Entwicklung von Pilotprojekten für intelligente Stromnetze dar. Darüber hinaus sind in der Region die erforderlichen technischen und wissenschaftlichen Kompetenzen für die Durchführung der Pilotprojekte vorhanden. Ein weiterer Pluspunkt, der die Pilotprojekte unterstützt, ist das Engagement der lokalen Behörden und vieler Unternehmen für Strategien zur Veränderung von Industriestandorten oder Stadtvierteln, um deren Kohlenstoffauswirkungen zu verringern oder sogar die Zertifizierung nach ISO 50 001 (Energiemanagement) zu erreichen.

Um alle Herausforderungen und Möglichkeiten der Smart-Grid-Innovation in der Region Oberrhein zu erfassen, werden drei Pilotprojekte vorgeschlagen:

- **Pilotprojekt 1:** Einrichtung von gedoppelten nachhaltigen Quartieren in Mulhouse und Karlsruhe
- **Pilotprojekt 2:** Integration von Elektroladestationen für die Elektromobilität in ein intelligent gesteuertes Stromnetz als Nachbarschafts- und Meta-Demonstrationsprojekte.
- **Pilotprojekt 3:** Kartierung der regionalen Netzsituation und Modellierung von Zukunftsszenarien für die Verstärkung der regionalen Netze zum Austausch volatiler Elektrizität auf verschiedenen Spannungsebenen

Empfehlungen

Die Kompetenzgruppe Smart-Grids empfiehlt die Installation eines Smart-Grid-Systems (Abbildung 7) in zwei Stadtvierteln (Pilot 1) in Frankreich und Deutschland als Testumgebung für intelligente Netzmanagementbereiche wie den kontrollierten und effizienten Stromverbrauch nach Bedarf. Das Ziel ist die Integration von Smart-Grid-Systemen in Stadtteilen in Mulhouse und Karlsruhe. Die Standorte wurden ausgewählt, da die Kommunen bereit sind, ein solches Pilotprojekt durchzuführen: In Karlsruhe wurde bereits mit der Umsetzung der Smart-Grid-Nachbarschaft begonnen, während die Gemeinde Mulhouse bereit ist, in eine solche Idee zu investieren. Der Transfer des gewonnenen Know-hows aus den in den beiden Stadtvierteln getesteten Smart-Grid-Systemen in die geplante Umsetzung des deutsch-französischen Innovationsparks EcoRhena als Beispiel für einen grenzüberschreitenden Meta-Demonstrator, wird empfohlen. Mit diesem Pilotprojekt sollen folgende Ziele erreicht werden: Die Veranschaulichung, wie intelligente Stromnetze die Reduzierung des Energieverbrauchs befördern, sowie die Integration und intelligente Speicherung erneuerbarer Energien, die Kopplung von Stromquellen, Wärme- und Kältemanagement und die Schaffung exportfähiger Modelle unterstützen.

Die Gruppe empfiehlt, die Integration von E-Mobilitätsbatterien in das Smart-Grid-System zusammen mit der Umsetzung der Smart-Grid-Quartiere zu testen (Pilot 2), um Erkenntnisse über die Verbesserung des Stromnetzmanagements durch Integration zu erlangen und wie technische, wirtschaftliche und gesellschaftliche Hindernisse gelöst werden können. Die Ziele dieses Pilotprojekts sind die Verbesserung des Verständnisses für die Optimierung des Ladestationsnetzes eines Stadtteils und der Kopplung zwischen dem Ladelastnetz und dem Verteilungsnetz mit der Intention, Stromspitzen bei der Nutzung von Batterie-

riespeichern für die Elektromobilität zu reduzieren, das beste Profil und die besten Nutzungsmodelle zu erreichen und die grenzüberschreitende Standardisierung von Ladenetzen zu unterstützen. Des Weiteren soll untersucht werden, wie e-Mobilität zur Stabilisierung der Netze integriert werden kann. Es wird vorgeschlagen, mit Industrievierteln zu beginnen, indem elektrische Ladestationen als Testumgebung für Smart-Grid-Anwendungen eingerichtet werden. So könnte gezeigt werden, wie intelligent integrierte Ladestationen zur E-Mobilität beitragen können, Energie zu sparen und die Energieverteilung in Bezug auf Verfügbarkeit und Zugänglichkeit zu optimieren.

Eine weitere Empfehlung ist die Kartierung (Pilot 3) des bestehenden regionalen Stromnetzes und die Analyse seiner Schwachstellen für einen optimalen grenzüberschreitenden Stromaustausch sowie die Untersuchung seiner Fähigkeit zur Stabilisierung bei schwankender Stromerzeugung. Die Ziele dieses Pilotprojekts basieren auf der Energiepolitik der Euro-

päischen Union und umfassen die Stabilisierung des Netzes durch Beibehaltung der Frequenz von 50 Hz, die Optimierung und Dekarbonisierung der verschiedenen Energien und die Integration der lokalen Netze in die transnationalen. Die Kapazitäten der bestehenden Netze und Lastprofilsimulationen für die verschiedenen Szenarien von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien, die von der RES-TMO-Studie bereitgestellt werden, sollen Teil dieses Pilotprojekts sein.

Die Kompetenzgruppe Smart-Grids hat das Gasleitungsnetz nicht berücksichtigt, da es nicht im Fokus der Gruppe stand; sie empfiehlt aber, dieses Netzsystem im nächsten Schritt mit zu untersuchen, um eine integrierte Energiewende zu gewährleisten.

Schließlich benötigt jedes der vorgeschlagenen Pilotprojekte erhebliche Ressourcen und die Beteiligung von Netzbetreibern sowie von Gemeinden und der Industrie.

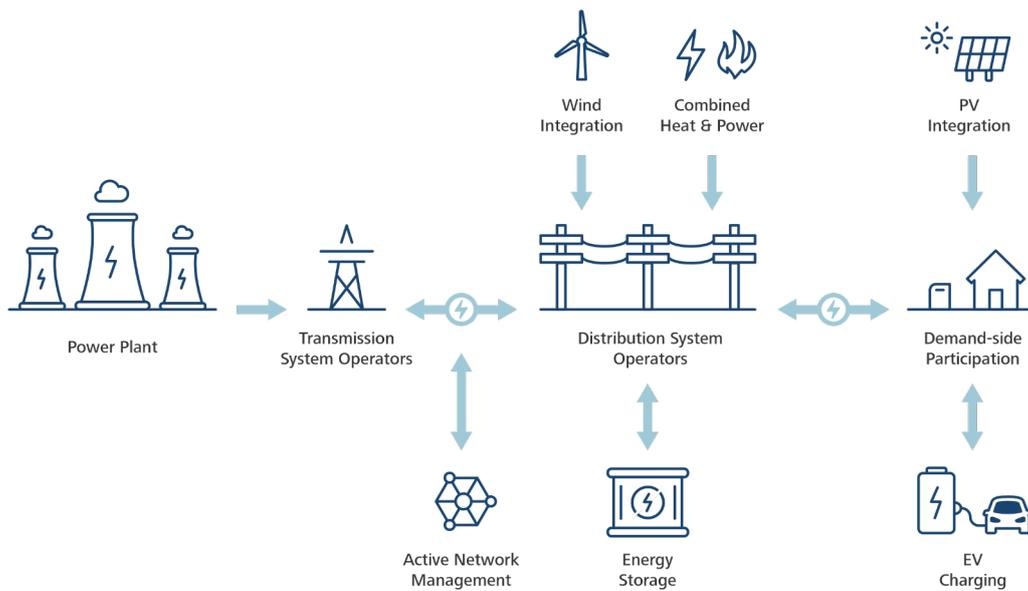


Abbildung 7: Eine mögliche Testumgebung für ein intelligentes Netzsystem in den Nachbarschaftspiloten (Quelle: European Distribution System Operators E.DSO).

07. Territorialer Rahmen

Innovative Ideen sind immer mit technologischen Herausforderungen verbunden und obwohl das grenzüberschreitende wissenschaftliche Fachwissen in der Oberrheinregion ein Pluspunkt bei der Bewältigung dieser Herausforderungen ist, ist die größte noch zu bewältigende die territoriale. Das Gebiet verfügt über eine hohe Komplexität, die durch seinen transnationalen Charakter noch verstärkt wird. Daher ist ein Rahmen mit mehreren Dimensionen erforderlich, in den das Gesamtprojekt eingebettet werden muss.

Die Kompetenzgruppe "Territoriale Rahmenbedingungen" ist eine multidisziplinäre deutsch-französische Forschungsgruppe, die sich auf folgende vier Themenbereiche stützt: soziale Akzeptanz, Umweltauswirkungen, territorialer Austausch und rechtliche Rahmenbedingungen. Zusammen definieren sie die Grundlage für die Innovationsregion Fessenheim. Diese Kompetenzgruppe soll die in den anderen drei Kompetenzgruppen der Machbarkeitsstudie entwickelten konkreten Ideen unterstützen (Abb. 8). Ihr Ziel ist es, ein umfassendes Bild aller territorialen Aspekte zu vermitteln, die sich auf das Projekt als Ganzes auswirken könnten. Die wichtigsten Ergebnisse werden in den folgenden Abschnitten zusammengefasst und mit möglichen Handlungsempfehlungen versehen.

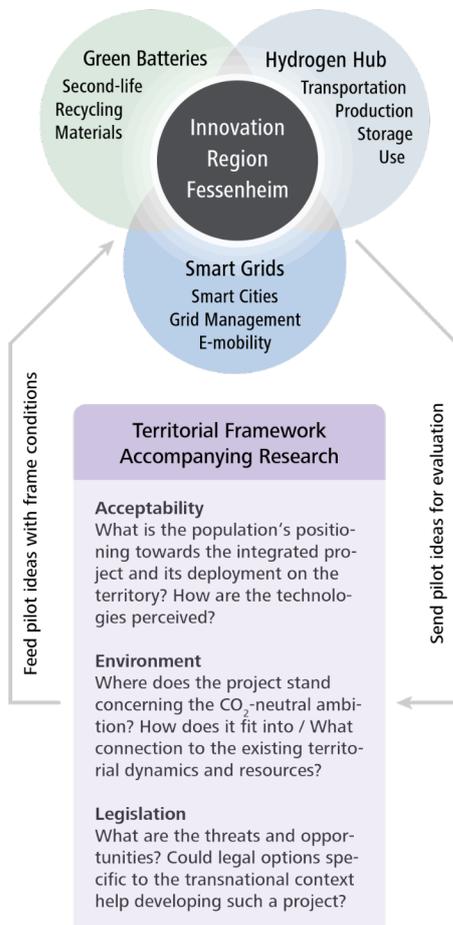


Abbildung 8: Die Verbindung zwischen der Gruppe "Territorialer Rahmen" und den anderen Kompetenzgruppen.

Empfehlungen

► Soziale Akzeptanz

Entscheidend für das Entstehen neuer Innovationen ist die soziale Akzeptanz (Patenaude, 2014). Gesellschaftliche Bedürfnisse, Wahrnehmungen und mögliche Veränderungen sowie ethische Fragen müssen dabei berücksichtigt werden. Die Untersuchungen dieser Kompetenzgruppe haben zu folgenden Ergebnissen geführt: Nachhaltige Technologien werden im Allgemeinen von der Öffentlichkeit unterstützt und Wasserstoff scheint die am meisten akzeptierte Technologie zu sein, gefolgt von grünen Batterien und intelligenten Netzen. Ein genauerer Blick auf die verschiedenen Parameter zeigt, dass objektives Wissen nur wenig mit dem Grad der Akzeptanz zu tun hat und dass das Vertrauen (in verschiedene Interessengruppen) einen bescheidenen, aber realen Einfluss hat. Die beiden vielversprechendsten Hebel mit positiver Wirkung scheinen das vermittelte Image (Affekt) und der damit verbundene Nutzen zu sein, da beide positiv mit dem Grad der Akzeptanz korreliert sind. In dieser Hinsicht ist Wasserstoff nicht nur die geeignetste Technologie, sondern vermittelt auch das positivste Image und scheint im Vergleich zu den anderen Beiden das beste Nutzen-Kosten-Verhältnis aufzuweisen.

Wir empfehlen daher eine sorgfältige Kommunikation. Je positiver das Image (positiver Affekt), desto wahrscheinlicher ist es, dass das Projekt als angemessen angesehen wird. Das gleiche Konzept gilt für den Nutzen: Je häufiger das Projekt als Quelle von Vorteilen wahrgenommen wird, desto eher wird es akzeptiert. Der Effekt ist bei den damit verbundenen Umweltvorteilen ohnehin noch stärker. Kommunikation ist der Schlüssel zum Aufbau des Images, das dann mit der Technologie/dem Projekt in Verbindung gebracht wird. Dementsprechend müssen die Kommunikationselemente eines Projekts sorgfältig konzipiert sein, um dieses Ziel zu unterstützen (Bostrom et al., 2018; Hoffrage & Garcia-Retamero, 2018; Peters et al., 2006).

Dennoch hängt die Akzeptanz auch von der Art und Weise ab, wie das Projekt in dem Gebiet umgesetzt werden soll. Die Einbindung der lokalen Bevölkerung von der Projektidee bis zur konkreten Entwicklung wäre zudem eine weitere Empfehlung. Dies geschieht am besten durch Transparenz zwischen dem Projektträger und der lokalen Bevölkerung und durch Konsultation bei der Projektentwicklung. Die Ko-Konstruktion des Projekts ist somit ein weiterer interessanter Hebel, den es zu erkunden gilt.

► Auswirkungen auf die Umwelt

Für die innovativen Projekte bedeutet die grüne Transformation eines Gebiets die geringsten Auswirkungen auf die Umwelt (Söderholm, 2020). Im Rahmen dieser Mach-

barkeitsstudie konnten nicht alle einzelnen Pilotprojekte bewertet werden. Aus diesem Grund wurde beschlossen, sich hauptsächlich auf die Folgenabschätzung der verschiedenen möglichen Szenarien für das Recycling von Lithium-Ionen-Batterien (LIB) und die verschiedenen bestehenden Wasserstoffproduktionsverfahren zu konzentrieren.

Das LIB-Recycling steckt noch in den Kinderschuhen, dient aber letztlich zwei Zielen: Begrenzung der Batterieentsorgung auf Mülldeponien und Verringerung des Drucks auf knappe Ressourcen (Harper et al., 2019). Es wurden vier Recyclingszenarien untersucht, die jeweils aus einer bestimmten Kombination von Elementarprozessen bestehen. Während die Daten zu den LIB-Recyclingverfahren noch spärlich sind, hat die Folgenabschätzung herausgestellt, dass aus ökologischer Sicht die verschiedenen Recyclingverfahren unterschiedlich starke Wirkungen haben. Darüber hinaus gibt es noch Spielraum für die Optimierung der Recyclingprozesse und die weitere Verringerung ihrer Umweltauswirkungen (Verwendung weniger umweltschädlicher Chemikalien). Interessant ist außerdem, dass andere innovative Technologien in Betracht gezogen werden sollten, da sie einen kürzeren Kreislauf im Modell der Kreislaufwirtschaft bilden könnten. So würde beispielsweise die direkte Neuaufbereitung von Batterien Vorteile haben, anstatt neue Batterien aus zurückgewonnenen Materialien herzustellen (Fan et al., 2021; Li et al., 2017). Es werden auch LEGO-ähnliche Batterien entwickelt, die die Demontage während des Recyclingprozesses erheblich erleichtern würden (Tarascon et al., 2021). Beide vorgenannten Technologien würden zu vergleichsweise geringeren Umweltauswirkungen führen.

Den Wasserstoff betreffend wurden mehrere Produktionsverfahren bewertet. Die Studie hat gezeigt, dass die Hochtemperatur-Elektrolyse unter Umweltgesichtspunkten der beste Kompromiss ist, insbesondere wenn die Infrastruktur durch ein Dampfnetz vor Ort versorgt wird. Die Herstellung von Wasserstoff durch Elektrolyse unterstützt das übergeordnete Ziel, die Treibhausgasemissionen zu verringern und sich in Richtung Kohlenstoffneutralität zu bewegen.

► Territorialer Austausch

Ein Gebiet ist eine lebendige Einheit, deren Austauschmöglichkeiten untersucht werden kann, um die mobilisierten Ressourcen zu analysieren und die territoriale Verankerung eines Projekts zu hinterfragen (Ribon et al., 2018). Die Auswahl relevanter Indikatoren ermöglicht es, die potenzielle Verbindung zu bestehenden territorialen Dynamiken zu messen und bevorzugte Umsetzungszonen zu identifizieren. Der Aufbau auf der bestehenden Industriestruktur und die Schaffung von Synergien durch Sektorkopplung ermöglichen ergänzende Vorteile, die

langfristig nicht nur alternative und de-karbonisierte Energiequellen bereitstellen, sondern auch die Produktionsmethoden der bestehenden Industrien de-fossilisieren (Ribon et al., 2018).

Das Projekt „Green Batteries“ basiert auf dem schnell wachsenden Markt der E-Mobilität. Der Ansatz der Kreislaufwirtschaft ist in dieser Hinsicht von wesentlicher Bedeutung und bietet interessante Perspektiven für die Lebensdauer und das Recycling von Batterien am Ende ihrer Nutzungsdauer. Die Größe der Pilotanlage deckt den derzeitigen Bedarf am Oberrhein (1 Tonne Autobatterien pro Tag), soll aber bei schnell wachsender regionaler Nachfrage langfristig auf 250 Tonnen pro Tag ansteigen. Darüber hinaus soll der Aufstellungsort der Anlage den technologischen Entwicklungen im Bereich des Batterierecyclings Rechnung tragen, die begleitend Raum für wissenschaftliche Experimente erforderlich machen. Die verschiedenen Technologien, die in das Projekt einbezogen sind, haben einen unterschiedlichen technologischen Reifegrad und unterschiedliche Zeitpläne. Während dieser Faktor zu potenziellen Synergien führen kann, können aber auch Störungen oder Abhängigkeiten auftreten, die berücksichtigt werden müssen. Die Technologien machen politische und industrielle Allianzen auch außerhalb des Oberrheins erforderlich. Darüber hinaus verfügt die Oberrheinregion über Mineralienvorkommen, die für Batterien wichtig sind und es wird empfohlen, diese Vorkommen von Primärressourcen, insbesondere von Lithium und Nickel, (erneut) zu erschließen.

Das Wasserstoffprojekt kann von einigen Synergiepotenzialen im Gebiet profitieren und könnte an mehreren Standorten umgesetzt werden, um ein Wasserstoff-Ökosystem zu entwickeln. Das Haupthindernis liegt jedoch in den lokal begrenzten Stromerzeugungskapazitäten, welche die hauptsächlich auf Elektrolyse basierende Wasserstoffherstellungskapazität behindern könnten. Die Nutzung von Biomasse-Ressourcen zur Wasserstoffherzeugung ist eine interessante Alternative, die mit den territorialen Ressourcen vereinbar ist und es wert ist, weiter verfolgt zu werden, auch wenn sie weniger ausgereift ist als die Elektrolyse. Dies gilt auch für andere innovative Produktionsverfahren (wie Biogas, Thermolyse, Thermo-cracking), die derzeit entwickelt werden und den Druck auf die lokalen Stromerzeugungskapazitäten verringern würden.

Das Smart-Grid-Projekt stützt sich hauptsächlich auf die Energieoptimierung. Die "Energienüchternheit" sollte auch für die Effektivität des intelligenten Netzes hervorgehoben werden, da sie wahrscheinlich der wichtigste Ansatz für den Aufbau eines widerstandsfähigen und klimaneutralen Stromnetzes ist.

Auf einer allgemeineren Ebene scheint die rasche Einführung dieser Projekte Folgendes zu erfordern: (i) einen gemeinsamen Konsens der betroffenen und/oder an der Entwicklung des Sektors beteiligten öffentlichen und privaten Interessengruppen, (ii) erhebliche und ausdrückliche öffentliche Unterstützung zur Begrenzung der mit den neuen Technologien verbundenen zusätzlichen Kosten, (iii) eine stärkere Beteiligung der privaten Interessengruppen, insbesondere beim Informationsaustausch, der für ein besseres Verständnis des aktuellen und potenziellen Bedarfs zur Entwicklung geeigneter Einrichtungen von entscheidender Bedeutung ist, und (iv) eine deutlichere Koordinierung mit der öffentlichen Politik auf verschiedenen territorialen Ebenen und mit den umliegenden Gebieten.

► Rechtlicher Rahmen

Die Umwandlung von Fessenheim in eine nachhaltige und innovative Region wirft rechtliche Fragen auf, die mit dem Vorhandensein von sowohl dem französischen als auch dem deutschen Rechtssystem verbunden sind. Es existieren innovative Lösungen innerhalb dieser Gesetzgebungen – diese müssen jedoch identifiziert und angewendet werden, um dieses Projekt zu entwickeln.

Die grenzüberschreitende Zusammenarbeit könnte der Schlüssel zur Entwicklung eines attraktiven rechtlichen Rahmens sein, der die Konkretisierung des Projekts begünstigt. Wenn rechtliche Hindernisse für die angestrebte grenzüberschreitende Kopplung nachhaltiger Technologien oder die Realisierung spezifischer Anlagen usw. festgestellt werden, könnte die grenzüberschreitende Zusammenarbeit als rechtliches Instrument fungieren, welches es Gebieten mit denselben Problematiken ermöglicht, gemeinsam mit Lösungen zu experimentieren und diese zu entwickeln. Bestehende französische rechtliche Möglichkeiten für innovative Projekte könnten angewandt und möglicherweise auf Deutschland ausgeweitet werden und umgekehrt. Andernfalls könnten neue Lösungen für beide Seiten entwickelt werden.

Um vorangegangenes zu veranschaulichen, dienen die folgenden Überlegungen: Im Fall von Wasserstoff scheint der französische Rechtsrahmen im Vergleich zum deutschen Rechtsrahmen sicher und gut entwickelt zu sein, da Wasserstoff im Mittelpunkt der französischen nationalen und regionalen Energiewende-Strategien steht (Langstädtler, 2021; Loi 2019-1147, 2019). Derzeit ist der französische Rechtsrahmen gut auf die Entwicklung von Pilotprojekten und die Förderung innovativer Projekte ausgelegt (Code de l'Énergie - Livre VIII; Ordonnance n°2021-167, 2021). Diese Neuerungen ermöglichen rechtliche Ausnahmeregelungen wie z. B. regulatorische „Sandkästen“ zur Überwindung möglicher rechtlicher Hindernisse. Die rechtlichen Hindernisse bedeuten lediglich eine rechtliche Abweichung vom französischen Recht.

Eine interessante Lösung für ein grenzüberschreitendes Projekt, das mit einem rechtlichen Hindernis konfrontiert ist, könnte in der Anwendung französischer Vorschriften bestehen, die derzeit einen besseren Rechtsrahmen bieten, als der deutsche Rechtsrahmen.

Bezüglich der Batterien ist für die Installation einer Produktionsanlage in beiden Rechtssystemen eine Genehmigung erforderlich, da Umweltbelange betroffen sind (BIMSchG o. D.; Code de l'environnement o. D.). Dieses langwierige und kostspielige Verfahren muss vor jeder konkreten Maßnahme berücksichtigt werden. Außerdem gibt es in Frankreich im Gegensatz zu Deutschland keine spezifischen Vorschriften für die Lagerung von Batterien, was ein ernstzunehmendes rechtliches Risiko für das Batterierecycling darstellen kann. Da Lithium als gefährliches Produkt gilt, sind geeignete Lagerungsmöglichkeiten und ein geregelter Transport erforderlich.

Grenzüberschreitende Projekte können von einem günstigen europäischen Kontext profitieren (Paket Saubere Energie für alle Europäer, 2019), sodass spezifische Mechanismen für die grenzüberschreitende Zusammenarbeit zur Anwendung kommen können. Die Innovationsregion Fessenheim kann als bilaterale Innovationszone entlang des Rheins betrachtet werden. Eine solche Entwicklung wird durch das EU-Energierecht gefördert (EUR-Lex energy, o. D.) und könnte von der Ausnahmeklausel im Aachener Vertrag (Aachener Vertrag - Art. 13, 2019) Gebrauch machen. Die Möglichkeit, eine Ausnahmeregelung anzuwenden hat jedoch ihre Grenzen um normatives Dumping zu vermeiden: Die Ausnahmeregelung muss strenge Umwelt- und Sozialstandards einhalten. Die Ausnahmeklausel des Aachener Vertrags spiegelt auch den politischen Willen der französischen und deutschen Staaten zur Zusammenarbeit wider. Im Wesentlichen muss auf den verfassungsrechtlichen Rahmen der Mitgliedstaaten als zwingende Rechtsgrundlage verwiesen werden.

Die technischen Pilotprojekte können größtenteils dazu genutzt werden, rechtliche und regulatorische Fragen und Hindernisse zu ermitteln und neue rechtliche und regulatorische Ansätze - auch auf europäischer Ebene - zu entwickeln, die für eine nachhaltige Ausweitung der technischen Lösungen erforderlich sind.

08. Schlussfolgerung

Die Machbarkeitsstudie hat gezeigt, dass die Innovationsregion Fessenheim mit einer Reihe von Vorzügen ausgestattet ist (siehe Kapitel 2), die ihr helfen könnten, sich zu einem europäischen grenzüberschreitenden regionalen Innovationssystem (CBRIS) zu entwickeln. Um die vorgeschlagenen Ideen effektiv für die Entwicklung zu nutzen, müssen die ausgewählten Pilotprojekte weiter ausgearbeitet werden, das heißt, die vorgeschlagenen Ideen müssen konkretisiert und für jedes einzelne Projekt spezifische Umsetzungspläne erstellt werden. Für eine detailliertere Planung der Piloten oder eine Auswahl von Piloten muss ein Konsortium mit Interessenvertretern auf kommunaler und europäischer Ebene und mit Industriepartnern gebildet werden, die über wissenschaftliches und administratives Know-how sowie über rechtliche Kompetenzen verfügen. Die ausgewählten Pilotprojekte aus verschiedenen Bereichen können zeigen, wie der Wandel zur Nachhaltigkeit mit den verschiedenen technologischen Innovationsbereichen verknüpft ist. So ist zum Beispiel die Erzeugung erneuerbarer Energien sowohl mit der Fähigkeit verbunden, Grünen Wasserstoff mit Hilfe der grünen Elektrizität zu produzieren als auch mit intelligenten Netzsystemen, eine optimale und bedarfsgerechte Verteilung des grünen Stroms mit minimalen Verlusten zu erreichen. Ebenso wichtig ist die Verbindung zwischen der Stabilisierung des Stromnetzes und der Verfügbarkeit von Batteriespeicherkapazität sowie die Verbindung zwischen der Batteriespeicherung und der Notwendigkeit des Recyclings von Batterien zum Schutz der Umwelt/des Klimas und zur Verringerung der Abhängigkeit von Rohstoffimporten. Unter Berücksichtigung der gegenseitigen Abhängigkeiten ist eine ganzheitliche Betrachtung der miteinander verknüpften Pilotprojekte und ihrer Umsetzung in einer Region unerlässlich, um etwas über den gesamten Transformationsprozess in Richtung Nachhaltigkeit zu erfahren. Die Wahl der Oberrheinregion mit ihren energieintensiven Industrieclustern um Basel, Chalampé und Karlsruhe ist ein optimaler Weg, um die Vorteile regionaler grenzüberschreitender Innovationszentren für mehr Nachhaltigkeit zu demonstrieren. Darüber hinaus bietet sie die Chance, nach der Stilllegung eines Kernkraftwerks (Fessenheim) zu demonstrieren, wie eine grenzüberschreitende Region durch die Bündelung der Ressourcen auf beiden Seiten der Grenze innerhalb eines kurzen Zeitraums in eine prosperierende, zukunftsorientierte Innovationsregion umgewandelt werden kann. Vor allem die Verringerung der Abhängigkeit von fossilen und nuklearen Energieträgern ist symbolisch für eine Region, die früher ein Kernkraftwerk im Betrieb beherbergte und vor allem für ihre Bürger, die in der Nähe dieses laufenden Kernkraftwerks lebten und sich stark mit diesem Thema auseinandersetzen. Außerdem weisen grenzüberschreitende Vorhaben viele Vorteile auf: Sie überwinden administrative und rechtliche Hindernisse, bieten regionales Fachwissen, das nationale Grenzen überwindet und beschleunigen so den Wissenstrans-

fer zwischen Unternehmen, Gesellschaften und Wissenschaftsorganisationen. Grenzüberschreitende Hubs erhöhen die grenzüberschreitende Flexibilität für Arbeitnehmer und vervielfachen die Ressourcen für gemeinsame Investitionen. Ebenso fördern diese das interkulturelle Verständnis, verbinden politische Visionen und stärken durch gemeinsame Aktivitäten die Position Europas in der Welt. Eine Reihe von Wirtschaftswissenschaftlern hat sogar nachgewiesen, dass die Wertschöpfung in grenzüberschreitenden Drehkreuzen signifikant hoch ist (Europäische Kommission, 2017).

Die Machbarkeitsstudie Innovationsregion Fessenheim skizziert erste mögliche Pilotprojekte, die auf der Grundlage der ermittelten regionalen Stärken entwickelt wurden. Die erfolgreichste Option ist die vernetzte Umsetzung dieser Pilotprojekte konzentriert in einer Region. Der Vorschlag liefert nicht nur Best-Practice-Beispiele, wie eine innovative Transformation in Richtung Nachhaltigkeit umgesetzt werden kann, sondern kann auch demonstrieren, wie Nationen auf beiden Seiten einer Grenze von gemeinsamen Aktivitäten profitieren können.

In der Tat bestätigten die Rückmeldungen der Industriepartner während mehrerer Workshops, dass die vorgeschlagenen Pilotprojekte mit den Zukunftsplänen ihrer Industrien übereinstimmen. In den Workshops betonten die Partner zudem, dass sie sich eine zeitnahe Durchführung solcher Pilotprojekte wünschen, um das Know-how zu gewinnen und für spätere Produktionsanlagen zu nutzen. Laut einer Erklärung von Frans Timmermans, Vizepräsident für den Europäischen Green Deal (2022)² „[wird] die grüne Transformation uns von unserer Abhängigkeit von Energie- und anderen Ressourcenimporten befreien. Insbesondere die Kreislaufwirtschaft wird es uns ermöglichen, unseren Bedarf an Primärressourcen zu senken und viel weniger Energie für unsere Produktion und unseren Konsum zu verbrauchen“.

Alle in der Machbarkeitsstudie vorgeschlagenen Pilotprojekte entsprechen dieser Aussage und tragen dazu bei, diese Vision zu erfüllen. Alle Piloten können nachgelesen werden und sind in Form von einzelnen Pilotblättern in einer eigenen Mappe als Anhang zu diesem Dokument beschrieben. Die Pilotblätter dienen als Grundlage für die Konkretisierung der Pilotideen. Ihre Umsetzungsplanung erfordert Investitionen, die vor allem als Anschubfinanzierung aus öffentlichen Mitteln von der europäischen bis zur regionalen Ebene gesichert werden müssen. Die Beschreibung der Piloten im Einzelnen kann als Grundlage zur Verfeinerung und Konkretisierung der Umsetzungspläne genutzt werden. Die für den Bau der Pilotanlagen notwendigen Investitionen sollten über öffentlich-private Finanzierungsmodelle abgesichert werden.

² <https://presidence-francaise.consilium.europa.eu/en/news/circular-economy-stakeholder-conference-the-eu-reaffirms-its-ambition-3-03/>

Um den oben erwähnten Prozess zu beschleunigen, müssen folgende Schritte nach Aussagen von Branchenmitgliedern zeitnah umgesetzt werden:

1. Bildung einer Managementgruppe zur Koordinierung und Verwaltung der Aktivitäten (einschließlich Öffentlichkeitsarbeit) für die Innovationsregion mit dem Ziel der Pilotumsetzung
2. Konkretisierung der Pilotideen durch Präzisierung der Umsetzungswünsche, wie z.B. die Zusammenstellung interessierter Konsortialmitglieder aus Wissenschaft, Wirtschaft, Verwaltung und gesellschaftlichen Akteuren für jedes Pilotprojekt
3. Ausarbeitung von Detail- und Ausführungsplänen für die Piloten
4. Bildung einer Lenkungsgruppe über alle Entscheidungsebenen aus Politik, Wirtschaft und Gesellschaft sowie regionale Akteure hinweg.
5. Bildung einer territorialen Rahmengruppe zur Begleitung der Umsetzungsplanung in Bezug auf ökologische, gesellschaftliche, verwaltungstechnische und ordnungspolitische Fragen
6. Durchführung von Maßnahmen zur Ansprache von Investoren und Erstellung eines Investitionsplans für Unternehmen sowie öffentliche und private Investoren
7. Festlegung eines Starttermins für die Pilotprojekte und die Öffentlichkeitsarbeit

Abschließend ist zu erwähnen, dass es zwingend erforderlich ist, die oben genannten Schritte innerhalb eines engen Zeitrahmens durchzuführen. Wie bereits erwähnt, haben die Rückmeldungen aus den Workshops mit den Branchenmitgliedern gezeigt, dass die Zeit das wesentliche Element ist, um die Führung auf dem Gebiet der technologischen Innovation hin zu mehr Nachhaltigkeit zu übernehmen und in diesem Jahrzehnt etwas zu bewirken.

Referenzen

- Aachener Vertrag (2019). Traité entre la République française et la République fédérale d'Allemagne sur la coopération et l'intégration franco-allemandes. Verfügbar unter: https://www.diplomatie.gouv.fr/IMG/pdf/traite.aix-la-chapelle.22.01.2019_cle8d3c8e.pdf
- Bayindir, R., Colak, I., Fulli, G., Demirtas, K. (2016). Intelligente Stromnetze Technologien und Anwendungen. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. (66),499-516.
- BlmSchG . n.d. Bundes-Immissions-Schutz-Gesetz Verfügbar unter: BlmSchG - nichtamtliches Inhaltsverzeichnis
- Bostrom, A., Böhm, G., O'Connor, R.E. (2018). Communicating risk: Principles and Challenges. In M. Raue, E. Lerner, & B. Streicher (Eds.), *Psychological Perspectives on Risk and Risk Analysis: Theory, Models, and Applications*. (251-278). Springer.
- Boons, F., Montalvo, C., Quist, J., Wagner, M. (2013). Sustainable innovation, business models and economic performance: an overview, *Journal of Cleaner Production*,(45),1-8, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.08.013>.
- Butt, O.M., Zulqarnain, M., Butt, M.T. (2021). Jüngste Fortschritte in der Smart-Grid-Technologie: Zukunftsperspektiven für das elektrische Stromnetz. *Ain Shams Engineering Journal*, (12) 1. 687-695.
- CaLEPA n.d. Beratungsgruppe für das Recycling von Lithium-Ionen-Autobatterien. Verfügbar unter: <https://calepa.ca.gov/lithium-ion-car-battery-recycling-advisory-group/>
- Paket "Saubere Energie für alle Europäer", (2019). Verfügbar unter: https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-strategy/clean-energy-all-europeans-package_en
- Code de l'environnement. n.d. Verfügbar unter: Code de l'environnement - Légifrance
- Code de l'Énergie - Livre VIII; Ordonnance n°2021-167 (2021). Ordonnance n° 2021-167 du 17 février 2021 relative à l'hydrogène. Verfügbar unter: <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000043148001>
- Cousse, J. (2021). Immer noch verliebt in die Solarenergie? Installation size, affect, and the social acceptance of renewable energy technologies, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, (145), 111107.
- Dühnen, S.,Betz, J., Kolek, M., Schmuch, R., Winter, M., Placke, T. (2020). Toward Green Battery Cells: Perspective on Materials and Technologies. *Small Methods*. 4. 2000039. [10.1002/smt.202000039](https://doi.org/10.1002/smt.202000039).
- EC DG Mobility and Transport. n.d. Abgerufen am 27.02.2022 von https://transport.ec.europa.eu/index_en
- Europäische Kommission (2017). Quantifizierung der Auswirkungen von rechtlichen und administrativen Grenzhindernissen in Landgrenzregionen. Final report. Online verfügbar: https://ec.europa.eu/regional_policy/sources/docoffic/2014/boosting_growth/quantif_effect_border_s_obstacles.pdf
- Europäische Verteilernetzbetreiber (E.DSO) (n.d.). Verteilernetzbetreiber (DSOs). Verfügbar unter: <https://www.edsofsmartgrids.eu/home/why-smart-grid>
- Europa.eu. 2021. Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen "Fit für 55": Erreichung des EU-Klimaziels für 2030 auf dem Weg zur KlimaneutralitätCOM/2021/550 Abgerufen am 2. März 2022 unter: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52021DC0550>
- EU -lex Energy. n.d. Zugang zum Recht der Europäischen Union. Energie. Verfügbar unter: https://eur-lex.europa.eu/summary/chapter/energy.html?root_default=SUM_1_CODED=18
- Fan et al., 2021: Fan, Xiaoping, Chunlei Tan, Yu Li, Zhiqiang Chen, Yahao Li, Youguo Huang, Qichang Pan, Fenghua Zheng, Hongqiang Wang, et Qingyu Li. 2021. In *A Green, Efficient, Closed-Loop Direct Regeneration Technology for Reconstructing the LiNi0.5Co0.2Mn0.3O2 Cathode Material from Spent Lithium-Ion Batteries*. *Zeitschrift für gefährliche Materialien* 410 (mai): 124610. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.124610>.
- Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme-ISE (2020). Agrivoltaik: Chancen für die Landwirtschaft und die Energiewende. Verfügbar unter: <https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/en/documents/publications/studies/APV-Guideline.pdf>
- Gernaat, D.E.H.J., de Boer, H.S., Daioglou, V. et al. (2021) Autorenkorrektur: Auswirkungen des Klimawandels auf die Versorgung mit erneuerbarer Energie. *Nat. Clim. Chang*. (11), 362. <https://doi.org/10.1038/s41558-021-01005-w>
- Harlé P , Kushnir A. R.L., Aichholzer C., Heap M. J., Hehn R., Maurer V., Baud P., Richard A. , Genter A. & Düringer P. (2019), Heat Flow Density Estimates in the Upper Rhine Graben Using Laboratory Measurements of Thermal Conductivity on Sedimentary Rocks, *Geothermal Energy*, 7 (1): art. 38, doi: <https://doi.org/10.1186/s40517-019-0154-3>

- Hafenverwaltung Kehl. 2015. Deutsche Häfen am Oberrhein. Retrieved from: https://www.raonline.ch/pages/edu/st4/wawa_rhein0102a.html
- Harper, G., Sommerville, R., Kendrick, E., Driscoll, L., Slater, P., Stolkin, R., Walton, A., Christensen, P., Heidrich, O., Lambert, S., Abbott, A., Ryder, K.G., Gaines, L., Anderson, P. (2019). Recycling von Lithium-Ionen-Batterien aus Elektrofahrzeugen. *Nature*. 575 (7781), 75-86.
- Hoffrage, U., Garcia-Retamero R. (2018). Verbesserung des Verständnisses von gesundheitsrelevanten numerischen Informationen. In M. Raue, E. Lermer, & B. Streicher (Eds.), *Psychological Perspectives on Risk and Risk Analysis. Theory, Models, and Applications*. (279-298). Springer.
- Interreg Oberrhein (2019). Analyse des Programmgebiets INTERREG V OBERRHEIN Endbericht. 11.06.2019. Verfügbar unter: <https://www.interreg-oberrhein.eu/wp-content/uploads/3-analyse-des-programmgebiets.pdf>
- Jäger T., McKenna R., Fichtner W. (2016). The Feasible Onshore Wind Energy Potential in Baden-Württemberg: A Bottom-up Methodology Considering Socio-Economic Constraints, *Renewable Energy*, (96), 662-675. doi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.05.013>.
- Jung, W., Engelke, D., Brester, B., Putlitz, A. 2012. Ulysses: Angewandte Forschungsergebnisse aus ESPON als Maßstab für die grenzüberschreitende Raumentwicklungsplanung nutzen. Wissenschaftlicher Bericht zum Abschlussbericht Multithematische Territorialanalyse der Trinationalen Metropolregion Oberrhein. ESPON & Karlsruher Institut für Technologie. Verfügbar unter: https://www.espon.eu/sites/default/files/attachments/ULYSSES_Final_Report_-_Scientific_Report_-_CS1_Upper-Rhine_MTA.pdf
- Komiyama, H., Takeuchi, K. (2006). Nachhaltigkeitswissenschaft: Aufbau einer neuen Disziplin. *Wissenschaft der Nachhaltigkeit 1* (1): 1-6.
- Langstädtler, S. (2021). Brauchen wir ein Wasserstoffinfrastruktur Gesetz? Zum planungs- und genehmigungsrechtlichen Rahmen für die Erzeugung, Verteilung und Speicherung von Grünem Wasserstoff. *ZUR Zeitschrift für Umweltrecht*. 32(4), 203-211.
- Li, X., Zhang, J., Song, D., Song L., Zhang, L. (2017). Direct Regeneration of Recycled Cathode Material Mixture from Scrapped LiFePO₄ Batteries. *Journal of Power Sources*. (345). 78-84. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2017.01.118>.
- Lopez, A., Roberts, B., Heimiller, D., Blair, N., Porro, G. 2012. U.S. Renewable Energy Technical Potentials: A GIS-Based Analysis. Technical Report NREL/TP-6A20-51946 July 2012. Available online: <https://www.nrel.gov/docs/fy12osti/51946.pdf>
- Loi 2019-1147 (2019). LOI n° 2019-1147 du 8 novembre 2019 relative à l'énergie et au climat. Verfügbar unter: LOI n° 2019-1147 du 8 novembre 2019 relative à l'énergie et au climat - Dossiers législatifs - Légifrance
- Miocic, J. (2021). Wasserstoffspeicherung im Oberrheingraben. Potenzialanalyse. Bericht Arbeitspaket 2.2. Verfügbar unter: https://www.res-tmo.com/fileadmin/PDFs/Outputs/RES_TMO_Bericht_H2_Speicherung_ORG_EN.pdf
- Mossali, E., Picone, N., Gentilini, L., Rodriguez, O., Manuel Pérez, J., Colledani, M. (2020). Lithium-Ionen-Batterien auf dem Weg zur Kreislaufwirtschaft: A Literature Review of Opportunities and Issues of Recycling Treatments. *Journal of Environmental Management*. (264), 110500.
- National Renewable Energy Laboratory n.d. Abgerufen am 21.02.2022 von <https://www.nrel.gov/>
- Neef, C., Schmalz, T., Thielmann, A. (2021). Recycling von Lithium-Ionen-Batterien: und Herausforderungen für den Maschinen- und Anlagenbau Kurzstudie im Auftrag der IMPULS-Stiftung (Stiftung für den Maschinenbau, den Anlagenbau und die Informationstechnik) Recycling von Lithium-Ionen-Batterien: Chancen und Herausforderungen für den Maschinen- und Anlagenbau. Verfügbar unter: https://publica.fraunhofer.de/eprints/urn_nbn_de_0011-n-6434738.pdf
- Oberrheinkonferenz. (2020). Statistische Broschüre Oberrhein. Abgerufen von: https://www.oberrheinkonferenz.org/de/statistik/downloads.html?file=files/assets/ORK/docs_de/allgemein/broschueren/statistikbroschuere-oberrhein-2020.pdf&cid=2792
- Patenaude, J. (2014). Die Bewertung der sozialen Akzeptanz neuer Technologien: Lücken und Spannungen zwischen Wissenschaft und Regulierung. *BioéthiqueOnline*. Verfügbar unter: https://www.researchgate.net/publication/269573770_Assessing_the_Social_Acceptability_of_New_Technologies_Gaps_and_Tensions_Between_Science_and_Regulation
- Peters, E., Västfjäll, D., Slovic, P., Mertz, C.K., Mazzocco, K., & Dickert, S. (2006). Zahlenverständnis und Entscheidungsfindung. *Psychologische Wissenschaft*, 17, 407-413.

Ribon et al., 2018: Ribon B., Badariotti D. et Kahn R. 2018. Fondements des analyses de flux de matières et d'énergie et typologies d'applications pour la gouvernance des territoires et des organisations. Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement, Volume 18 numéro 2. DOI: 10.4000/vertigo.20822

Regierungspräsidium Freiburg, n.d., Oberrhein. Abgerufen am 20. Dezember 2021 unter: <https://rp.baden-wuerttemberg.de/rpf/sgz-en/upper-rhine/>

Samsatl, S. , Samsatli, J.N (2019). Die Rolle von erneuerbarem Wasserstoff und Zwischenspeichern bei der Dekarbonisierung von Wärme - Umfassende Optimierung zukünftiger Wertschöpfungsketten für erneuerbare Energien. Applied Energy, (233-234). 854-893. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.09.159>.

Spangenberg, J. (2011). Wissenschaft der Nachhaltigkeit: Ein Rückblick, eine Analyse und einige empirische Lehren. Environmental Conservation, 38(3), 275-287. doi:10.1017/S0376892911000270

Schuhmacher et al. (Eds.) (2017): Schumacher K., Fichtner W. & Schultmann F., Innovations for Sustainable Biomass Utilization in the Upper Rhine Region, KIT Scientific Publishing, doi: <https://doi.org/10.5445/KSP/1000048433>

Specht, M., Zuberbühler, U.; Wittstadt, U. (2004). Regenerativer Wasserstoff - Erzeugung, Nutzung und Syntheserohstoff. Stadermann, G. ; Forschungsverbund Sonnenenergie -FVS-: Wasserstoff und Brennstoffzellen-Energieforschung im Verbund : Jahrestagung des Forschungsverbunds Sonnenenergie, 25.-26.11.2004 in Berlin. Berlin: FVS, 2005 (Forschungsverbund Sonnenenergie. Themen 2004). S.33-40 Verfügbar unter: Regenerativer Wasserstoff - Erzeugung, Nutzung und Syntheserohstoff

Tarascon et al., 2021: Tarascon, J.-M. 2021. Batterien: Constituants, Évolution des recherches, Batterie 2030+. Le tout en 5 min. Webinar, 13. April. <https://www.concertation-acc-batteries.fr/compte-rendu-et-replay/7>.