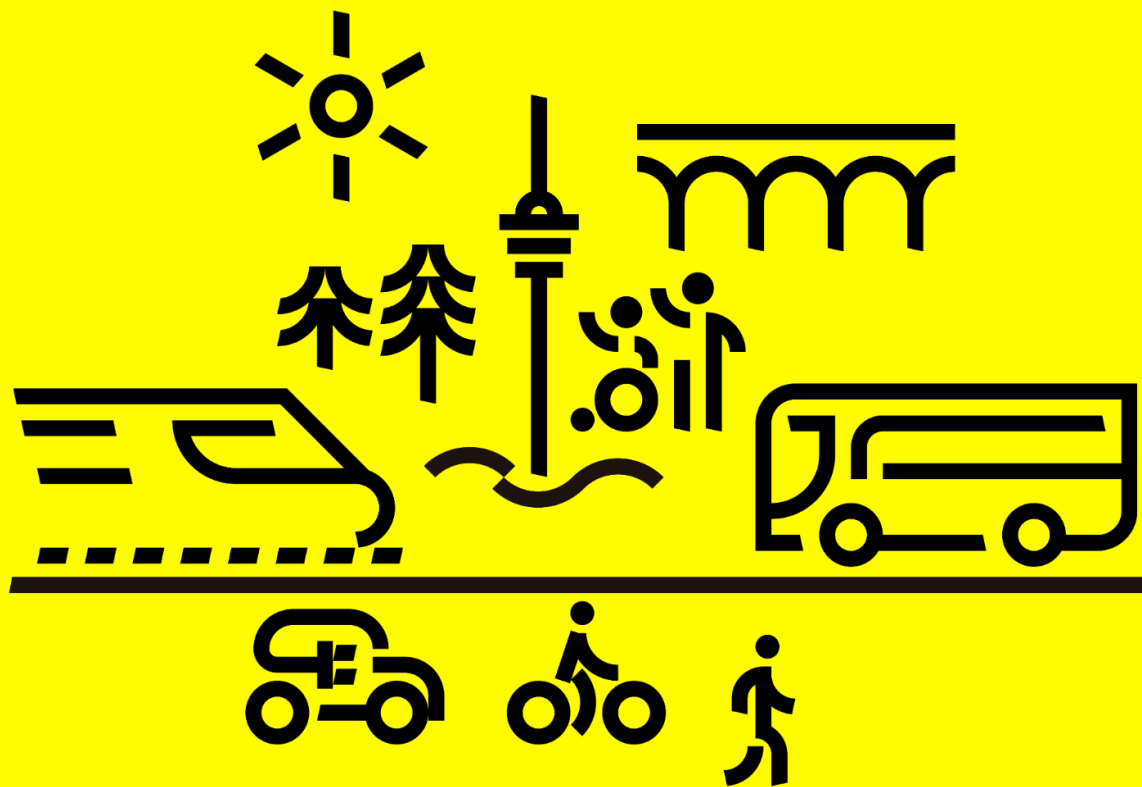




Fortschrittsbericht: Roadmap reFuels für Baden- Württemberg





**Baden-Württemberg
Ministerium für Verkehr**

Impressum

Auftraggeber:



**Baden-Württemberg
Ministerium für Verkehr**

Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg (VM)
Dorotheenstraße 8
70173 Stuttgart

Bearbeiter:



Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW)
Meitnerstraße 1
70563 Stuttgart

Autorinnen und Autoren: Marcel Klingler, Andreas Püttner, Maike Schmidt

Stand: November 2025



Inhaltsverzeichnis

1.	Management Summary	4
2.	Einführung.....	7
3.	Entwicklung des für reFuels relevanten Rechtsrahmens.....	9
4.	Umsetzungsstand der in der Roadmap reFuels hinterlegten Maßnahmen (Monitoring)	12
4.1.	Maßnahmen zur Steigerung des Angebots an reFuels	13
4.2.	Maßnahmen zur Steigerung der Nachfrage nach reFuels	19
4.3.	Maßnahmen im Bereich Forschung, Entwicklung und Technologiediffusion	28
4.4.	Maßnahmen zur Weiterentwicklung der Roadmap reFuels	30
5.	Internationale Entwicklungen im Kontext reFuels	31
5.1.	Ankündigungen geplanter erneuerbarer PtL-Kraftstoffe	32
5.2.	Ankündigungen geplanter erneuerbarer Methanol-Projekte.....	34
5.3.	Ankündigungen geplanter erneuerbarer Wasserstoff-Projekte.....	36
5.4.	Ankündigungen geplanter erneuerbarer Ammoniak-Projekte	38
6.	Fazit und Ausblick	40
	Anhang – Überblick über die im Rahmen der Umsetzung der Roadmap reFuels initiierten Projekte.....	43
	Abbildungsverzeichnis.....	53



1. Management Summary

Der vorliegende Fortschrittsbericht legt erstmals nach drei Jahren eine ausführliche Zwischenbilanz zum Stand der Umsetzung der Roadmap reFuels für Baden-Württemberg vor. Mit der Roadmap wurde die Grundlage für einen langfristigen Transformationsprozess gelegt, der den Einsatz strombasierter und fortschrittlicher biogener Kraftstoffe (reFuels) systematisch vorantreiben soll. Ziel ist es, den Verkehrssektor in Baden-Württemberg auch in denjenigen Bereichen schrittweise zu defossilisieren, die nicht vollständig elektrifiziert werden können und auch langfristig auf kohlenstoffbasierte Kraftstoffe angewiesen sein werden.

Die Analyse internationaler Projektentwicklungen für die reFuels-Produktion beschreibt eine steigende weltweite Dynamik. Die bislang beobachtbaren Fortschritte reichen jedoch bei Weitem nicht aus, die für den Markthochlauf erforderlichen Größenordnungen rechtzeitig sicherzustellen. Die überwiegende Zahl an angekündigten Produktionsanlagen für Power-to-Liquid-Kraftstoffe (PtL), Methanol oder Ammoniak befindet sich noch in (frühen) Planungsstadien. Investitionsentscheidungen oder gar der konkrete Aufbau von Produktionskapazität verzögern sich, weil Geschäftsmodelle angesichts unsicherer Märkte und unzureichender regulatorischer Rahmenbedingungen nicht tragfähig bzw. attraktiv erscheinen.

Besonders deutlich wird das Thema fehlende Geschäftsmodelle im Hinblick auf die rechtlichen Rahmenbedingungen. Auf europäischer Ebene sind mit der Erneuerbare-Energien-Richtlinie (RED II und RED III), der ReFuelEU Aviation-Verordnung und der FuelEU Maritime-Verordnung zwar wichtige Grundlagen geschaffen worden, die langfristig eine verbindliche Nachfrage nach reFuels generieren sollen. So stellt die Einführung steigender Mindestquoten für den Einsatz nachhaltiger biogener und strombasierter Kraftstoffe für den Luftverkehr (Sustainable Aviation Fuel, SAF) einen wichtigen Treiber dar. Andere Regelungen wie der Delegierte Rechtsakt zu Art. 28 RED II verhindern jedoch, dass hiervon ausreichende Signale für Geschäftsmodelle für den Aufbau von Produktionskapazitäten für strombasiertes Kerosin ausgehen können. Die Lösung dieser Gemengelage steht auch im Fokus des Aktionsplan reFuels der Landesregierung, der die unterschiedlichen Problemstellungen nicht nur beschreibt, sondern auch konkrete Lösungsvorschläge an die EU-Kommission unterbreitet.

Die Zurückhaltung von Marktakteuren ist somit überwiegend auf den aktuellen regulatorischen Rahmen auf europäischer Ebene zurückzuführen. Hierzu zählen die strengen Anforderungen bezüglich des Strombezugs für die PtL-Produktion: Für die erforderliche erneuerbare Stromerzeugung gilt nicht nur das Kriterium der Zusätzlichkeit. Vielmehr erschweren die geforderte zeitliche Korrelation der Produktion von erneuerbarem Strom und Wasserstoff sowie eine geographische Korrelation der Erzeugungsanlagen den Aufbau einer Produktion. Die gewährten Übergangsfristen sind deutlich zu kurz, um tatsächlich erste Anlagen - auch ohne die Einhaltung dieser strengen Kriterien - zu ermöglichen. Hinzu kommt, dass die Nutzung industrieller CO₂-Punktquellen nur zeitlich beschränkt bis 2040 für die PtL-Produktion zulässig sind. Dauerhaft zugelassene CO₂-Quellen sind biogene Quellen und Direct Air Capture. Beide stellen zum jetzigen Zeitpunkt (noch) keine großvolumigen CO₂-Lieferanten dar. Diese Regelung verhindert den Aufbau von großskaligen Erzeugungskapazitäten an großen CO₂-Punktquellen, da die Zeitspanne bis 2040 zu kurz ist, um für erforderliche Investitionen ausreichend Kapitalrückflüsse generieren zu können. Um dauerhaft die



Nutzung von unvermeidbar anfallendem CO₂ aus industriellen Punktquellen für die Produktion treibhausgasneutraler PtL-Produkte zu ermöglichen, wurde im Rahmen der Umsetzung der Roadmap ein Vorschlag für einen bilanziellen Ausgleich entwickelt, den es nunmehr auf europäischer Ebene vorzustellen und zur Umsetzung zu bringen gilt, vgl. S. 53. Die Studie liegt vor.

Ein weiteres Hemmnis stellen fehlende konkrete Vorgaben und Fördermechanismen für Bereiche außerhalb des Luft- und Schiffsverkehrs dar. Ohne Quoten oder andere Vorgaben für den Einsatz von reFuels in anderen nicht-elektrifizierbaren Verkehrsbereichen, kann die noch bestehende Kostenlücke zwischen fossilen Kraftstoffen und reFuels nicht geschlossen werden, so dass reFuels nicht zum Einsatz kommen. Zudem fehlen in Deutschland nach wie vor ausreichende Anreizmechanismen, wie z. B. konkrete Bundesförderprogramme, um Investitionen in (Pilot-)Anlagen zu ermöglichen.

Trotz dieser schwierigen Rahmenbedingungen hat Baden-Württemberg die Umsetzung der Roadmap mit Nachdruck vorangetrieben. Das Land hat seine Handlungsspielräume genutzt, um über Studien, Machbarkeitsanalysen und konkrete Pilotprojekte sowohl die Angebots- als auch die Nachfrageseite zu stärken. Auf der Angebotsseite wurden technische, wirtschaftliche und regulatorische Analysen durchgeführt, um gezielt wichtige Akteure in der EU, dem Bund sowie in der Industrie adressieren zu können. Dazu gehören Untersuchungen zu Bedarfen an CO₂, zur Nutzung von unvermeidbar entstehendem CO₂ aus industriellen Prozessen, zur Entwicklung von Direct-Air-Capture-Technologien sowie Vorarbeiten für mögliche Demonstrationsanlagen. Auch internationale Partnerschaften werden ausgelotet, um perspektivisch reFuels-Importe initiieren zu können. Diese Aktivitäten bilden wichtige Grundlagen, um die Versorgungssicherheit Baden-Württembergs mit erneuerbaren Kraftstoffen langfristig abzusichern.

Auf der Nachfrageseite konnte durch zahlreiche Aktivitäten das Einsatzpotenzial von reFuels in verschiedenen Bereichen präzisiert und auch quantifiziert werden. Als Bereiche mit den größten Bedarfen konnten der Flugverkehr, die Binnenschifffahrt sowie insbesondere die Land- und Forstwirtschaft identifiziert werden. Zugleich wurden potenzielle Bedarfe in Bereichen wie dem Landesfuhrpark oder der Landespolizei erfasst.

Ein Leuchtturmprojekt auf der Nachfrageseite stellt die Initiative „Klimaneutraler Bodensee“ dar, bei der mit HVO100 und Nautic E10 bereits heute praktische Erfahrungen gesammelt werden. Die Resonanz ist hierbei sowohl in der Öffentlichkeit als auch bei benachbarten Regionen besonders hoch. Dies stellt aber auch einen Schwerpunktwechsel dar. Weil PtL-Kraftstoffe bislang nur in kleinen Forschungsanlagen mit geringen Produktionsmengen erzeugt werden, kommt den fortschrittlichen Biokraftstoffen eine stärkere Bedeutung zu, um überhaupt reFuels einsetzen zu und damit kurzfristig CO₂-Einsparungen erzielen zu können. Biokraftstoffe waren in der Roadmap zwar mitgedacht, standen aber bislang weniger im Fokus, da langfristig größere Chancen für PtL-Kraftstoffe gesehen werden, bei denen die erforderlichen Rohstoffe bzw. Potenziale weniger begrenzt sind.

Die Bilanz des bisherigen Umsetzungsprozesses fällt somit gemischt aus. Auf der einen Seite bleibt insbesondere der europäische Rechtsrahmen für Investitionen in notwendige industrielle Produktionsanla-



gen unzureichend, was die angestrebte Demonstrationsanlage und die großskalige Technologieentwicklung in Baden-Württemberg bislang verhindert hat. Auf der anderen Seite konnte das Land durch Aktivitäten im Bereich der Regulatorik, zahlreiche vorbereitende Projekte, das bundesweite Verbundforschungsvorhaben Plattform InnoFuels und praktische Umsetzungsprojekte zentrale Grundlagen legen, die für die nächste Phase der Roadmap reFuels von entscheidender Bedeutung sind.

Für die nun anstehende Fortschreibung der Roadmap bedeutet dies, dass Baden-Württemberg verstärkt von der konzeptionellen Ebene in die konkrete Umsetzung übergehen muss – bei rückläufigen Fördermitteln und bei bislang unveränderten schwierigen regulatorischen Rahmen. Diesen adressiert der bereits genannte, kürzlich vorgestellte **Aktionsplan reFuels**, der vor allem auf europäischer Ebene auf eine Anpassung der Regulatorik für reFuels zielt, um sowohl die Produktion von reFuels in Europa zu ermöglichen und gleichzeitig die entsprechende Nachfrage zu schaffen.

Zugleich ist auf Landesebene begleitend eine noch intensivere ressortübergreifende Koordination zum Themenkomplex reFuels erforderlich, die politische Prioritäten setzt, Hemmnisse auch auf Bundesebene aktiv gemeinsam adressiert, Investitionen fördert, Zielkonflikte thematisiert und aktiv auflöst und somit den Einsatz von reFuels in den verschiedenen Nachfragebereichen der Roadmap gezielt vorantreibt. So gilt es bspw. Instrumente zu entwickeln, die die Mehrkosten von reFuels gegenüber fossilen Kraftstoffen in verschiedenen Nachfragebereichen kompensieren helfen.

Gleichzeitig eröffnet die anstehende Fortschreibung die Möglichkeit, weitere Einsatzfelder wie Baumaschinen, kommunale Sonderfahrzeuge oder die Flotten der Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben in die Betrachtung einzubeziehen. Auch die Rolle von reFuels im Kontext einer resilienteren Energie- und Rohstoffversorgung sollte systematischer berücksichtigt werden. Dezentrale Produktionseinheiten könnten das Land im Krisenfall dabei unterstützen, kritische zivile Infrastrukturen und industrielle Produktionsprozesse aufrechtzuerhalten und könnten daher ein Beitrag sein, Gesellschaft und Wirtschaft krisensicherer aufzustellen.

Insgesamt zeigt die Zwischenbilanz, dass Baden-Württemberg trotz ungünstiger regulatorischer Rahmenbedingungen wichtige Fortschritte erzielt hat. Das Land hat eine Basis geschaffen, auf der in der nächsten Phase konkrete Projekte mit den entsprechenden Investitionen entwickelt werden können. Für die beschleunigte Umsetzung sind aber Änderungen am regulatorischen Rahmen gemäß dem Aktionsplan reFuels zu forcieren und darüber hinaus ausreichend Haushaltsmittel zur Verfügung zu stellen. Damit könnte Baden-Württemberg weiterhin eine Vorreiterrolle in Deutschland und Europa einnehmen und entscheidende Impulse für den Hochlauf erneuerbarer Kraftstoffe setzen. Dies wäre wichtig, weil dadurch nicht nur die Klimaziele im Verkehrssektor unterstützt werden, sondern dadurch auch neue Märkte für Unternehmen aus Baden-Württemberg erschlossen, Wertschöpfungspotenziale realisiert und Arbeitsplätze gesichert werden können. Durch den Aufbau von Produktionsanlagen vor Ort und den damit verbundenen Nachweis der Funktionstüchtigkeit von PtL-Produktionsanlagen können die Exportchancen der heimischen Industrie weiter gestärkt werden. Hierzu soll auch der für 2026 geplante intensive Einstieg in den Industriedialog reFuels beitragen, der die verschiedenen Akteure miteinander vernetzen und die Zusammenarbeit stärken soll.



2. Einführung

Mit der Veröffentlichung der Roadmap reFuels für Baden-Württemberg wurde im Jahr 2022 ein strategischer Rahmen geschaffen, der erstmals einen systematischen Handlungsplan zur Einführung von reFuels im Land vorlegt. Die Roadmap wird dabei seitens des Landes nicht als statisches Dokument verstanden, sondern als dynamischer Orientierungsrahmen für Politik, Wirtschaft und Wissenschaft, der den Transformationsprozess hin zu einer klimaneutralen Mobilität aktiv begleitet. Im Mittelpunkt steht das Ziel, durch den Markthochlauf von reFuels einen wirksamen Beitrag zur Erreichung der Klimaziele im Verkehrssektor zu leisten und gleichzeitig neue Chancen für Wertschöpfung und Beschäftigung im Industriestandort Baden-Württemberg zu eröffnen.

Unter reFuels werden sowohl regenerativ erzeugte Kraftstoffe auf Basis von grünem Wasserstoff und CO₂ sowie fortschrittliche Biokraftstoffe verstanden. Diese gelten als zentrale Ergänzung zu Elektrifizierung und Verlagerung im künftigen Mobilitätsmix. Sie treten dabei nicht in Konkurrenz zur Umstellung auf batterie- oder brennstoffzellengestützten Mobilitätsansätzen. reFuels sollen insbesondere in denjenigen Bereichen Anwendung finden, in denen eine direkte Elektrifizierung aus technischen oder wirtschaftlichen Gründen nicht möglich oder nicht effizient ist oder wo aus Gründen gesellschaftlicher Resilienz auch zukünftig weiterhin flüssige Kraftstoffe gebraucht werden, beispielsweise bei den Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BOS), darunter Polizei, Zoll, Technisches Hilfswerk (THW), Feuerwehren sowie die Organisationen des Rettungsdienstes und des Katastrophenschutzes. Gleichzeitig könnte Baden-Württemberg mit seinem dichten Netzwerk aus forschungsstarken Institutionen, innovativen Unternehmen, leistungsfähigen Zulieferern und einer international vernetzten Industrie eine aktive Rolle in der technologischen Entwicklung und industriellen Umsetzung einnehmen.

Zur Umsetzung der Roadmap wurden verschiedenste Maßnahmen formuliert, die konkrete Impulse zur Steigerung des Angebots an und zur Nachfrage nach reFuels setzen sollten. Zusätzlich sollten Forschung und Entwicklung gefördert, regulatorische und wirtschaftliche Rahmenbedingungen adressiert und ein begleitendes Monitoring etabliert werden. Seit Veröffentlichung der Roadmap sind bereits vielfältige Aktivitäten in Gang gesetzt worden, die nun erstmals in einem konsolidierten Fortschrittsbericht vollständig dokumentiert werden.

Der vorliegende Fortschrittsbericht liefert einen umfassenden Überblick über den aktuellen Stand der Maßnahmenumsetzung. Er zeichnet nach, welche Fortschritte in den verschiedenen Handlungsfeldern seit dem Start des Roadmap-Prozesses erreicht werden konnten. Parallel dazu wird der regulatorische Rahmen auf EU- und Bundesebene betrachtet, der maßgeblich die Investitionsbedingungen und Markteintrittsbarrieren für reFuels prägt. Die Umsetzung der wichtigsten Maßnahmen der Roadmap wie z. B. der Aufbau von Produktionskapazitäten in Baden-Württemberg hängt unmittelbar unter anderem von politischen Entscheidungen und gesetzlichen Vorgaben ab. Der Bericht zeigt auf, wie sich der regulatorische Kontext entwickelt hat, welche Konsequenzen dies für die Zielsetzung der Roadmap und auf die prominentesten Maßnahmen hat, die deswegen noch nicht realisiert werden konnten, und welche offenen Fragen den Hochlauf verzögern oder erschweren können.



Des Weiteren werden auch die Entwicklungen auf internationaler Ebene dargestellt. Im Rahmen eines kontinuierlichen Monitorings wurden weltweit Projektankündigungen im Bereich der Produktion strombasierter Kraftstoffe erfasst – mit besonderem Blick auf Power-to-Liquid (PtL), Methanol, Ammoniak und Wasserstoff. Dabei wird in verschiedene Projektfortschrittsstadien wie Konzeption, Machbarkeitsstudien, finale Investitionsentscheidungen, in Bau oder in Betrieb unterschieden. Die Darstellung internationaler Entwicklungen liefern wertvolle Erkenntnisse für mögliche Import- und Versorgungsstrategien und geben Hinweise auf das globale Angebot an erneuerbaren Energieträgern.

Neben der Darstellung der bereits erreichten Erfolge bei den regulatorischen Rahmenbedingungen, bei der Maßnahmenumsetzung sowie auf internationaler Ebene, dient der Fortschrittsbericht vor allem als wichtige Grundlage für Vorbereitung der anstehenden Fortschreibung der Roadmap reFuels. Wichtige Erkenntnisse und Handlungsempfehlungen aus dem Monitoring der Roadmap für die Fortschreibung sind am Ende des Berichts nochmals zusammengefasst.



3. Entwicklung des für reFuels relevanten Rechtsrahmens

Der regulatorische Rahmen auf europäischer und nationaler Ebene bildet die Grundlage für die Marktentwicklung strombasierter und fortschrittlicher biogener Kraftstoffe. Über seine Ausgestaltung kann die Markteinführung strombasierter Kraftstoffe erheblich beschleunigt oder ebenso verzögert werden. Im Fokus der Roadmap standen insbesondere PtL-Kraftstoffe, weil die Rohstoffbasis und damit die Potenziale für biogene Kraftstoffe nur begrenzt verfügbar sind. Der angenommene Hochlauf von PtL-Kraftstoffen hat sich jedoch nicht so entwickelt, wie es die Zielsetzungen der Roadmap erfordern. Die Gründe hierfür sind vielfältig und werden in den folgenden Abschnitten erläutert. Deswegen sind mittlerweile biogene Kraftstoffe stärker in den Fokus gerückt, um im Bereich der Bestandsflotten eine schnellere Klimawirkung erreichen zu können.

Die im Auftrag des Verkehrsministeriums Baden-Württemberg von Frontier Economics erstellte Studie zur Sicherung der erneuerbaren Kraftstoffversorgung¹ unterstreicht einmal mehr die Schlüsselrolle des regulatorischen Rahmens und beleuchtet detailliert den Einfluss der aktuellen Regulatorik auf die Entwicklung von Angebot und Nachfrage von reFuels. Eine ausführliche Analyse ist in der genannten Studie zu finden. An dieser Stelle sollen nur schlaglichtartig die wichtigsten Entwicklungen seit der Veröffentlichung der Roadmap beleuchtet werden.

Eine Forderung aus der Roadmap reFuels betraf den Einsatz paraffinischer Reinkraftstoffe: Diese können auf Basis unterschiedlicher Ausgangsstoffe – insbesondere biogene Rest- und Abfallstoffe, Pflanzenöle, Anbau-Biomasse sowie Wasserstoff und CO₂ – hergestellt werden. Zum Zeitpunkt der Veröffentlichung der Roadmap war der Einsatz dieser Kraftstoffe im Straßenverkehr in Deutschland untersagt. Mit einer Änderung der 10. BImSchV, die Ende Mai 2024 in Kraft trat, ist der Einsatz auch in Deutschland nun uneingeschränkt möglich. Dies betrifft insbesondere HVO100, einen alternativen Dieselmotorkraftstoff in Reinform, der aus Altspeiseölen oder tierischen Fetten hergestellt wird. So wurde ein erhebliches Hemmnis für den Einsatz von reFuels ausgeräumt. Für schwer elektrifizierbare Fahrzeugsegmente eröffnet dies die Möglichkeit einer kurzfristigen Nutzung von reFuels und damit kurzfristig realisierbare Treibhausgaseminderungspotenziale.

Die zentrale EU-Richtlinie zur Förderung erneuerbarer Energien im Verkehrssektor ist die Richtlinie (EU) 2018/2001 (RED II), bzw. die Folgerichtlinie (EU) 2023/2413 (RED III), da sie für den Verkehrssektor verbindliche Quoten für den Anteil erneuerbarer Energien vorschreiben, die durch die EU-Mitgliedstaaten umzusetzen sind. Der in der RED III verankerte Zielwert liegt bei mindestens 29 % erneuerbare Energien am Endenergieverbrauch im Verkehr bis 2030 oder eine Mindestminderung der Treibhausgasemissionen um 14,5 %. Der reFuels-Anteil an der Energieversorgung des Verkehrs soll 2030 bei mindestens 5,5 % liegen, mit einer Unterquote von mindestens 1 % strombasierter Kraftstoffe.

¹ Frontier Economics (2025): Sicherung der Kraftstoffversorgung in Baden-Württemberg – Eine Studie für das Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg. 15. Juli 2025. <https://www.frontier-economics.com/media/z1uhdygc/rpt-frontier-sicherung-der-erneuerbaren-kraftstoffversorgung-baden-wuerttemberg.pdf>



Derzeit steht die nationale Umsetzung der RED III in Deutschland an und sie wird im Sinne der Förderung des Markthochlaufs für reFuels seitens der Landesregierung aktiv begleitet. Denn eine wirtschaftlich tragfähige Produktion von reFuels ist im heutigen Marktumfeld nur möglich, wenn reFuels im Rahmen der THG-Quote auf die Erfüllung der gesetzlichen Vorgaben angerechnet werden können. Deshalb gilt, es die Umsetzung von EU-Regulierung in Deutschland konstruktiv für einen beschleunigten Hochlauf von reFuels zu gestalten.

Ein ebenfalls zentraler Treiber für reFuels stellt Verordnung EU 2023/2405 zur Gewährleistung gleicher Wettbewerbsbedingungen für einen nachhaltigen Luftverkehr (ReFuelEU Aviation) dar. Für Inverkehrbringer von Flugkraftstoffen werden darin sukzessiv steigende Quoten für den Einsatz von Sustainable Aviation Fuel (SAF) formuliert. Ab 2025 müssen mindestens 2 % des in Europa vertankten Kerosins aus SAF stammen. Die Quote steigt 2030 auf 6 %, 2040 auf 34 % und beträgt 2050 70 %. Dabei gilt für synthetische bzw. strombasierte Flugkraftstoffe eine verbindliche Unterquote. Ab 2030 müssen mindestens 1,2 % der vertankten Flugkraftstoffe an europäischen Flughäfen aus strombasierten Kraftstoffen stammen. 2040 beträgt die Quote 10 %, bis 2050 steigt diese auf 35 % an. Mit der EU-Verordnung 2023/1805 (FuelEU Maritime) wird von der EU auch der Schiffsverkehr adressiert. Die Verordnung fördert den Einsatz emissionsarmer und erneuerbarer Kraftstoffe sowie saubere Antriebe. Für Baden-Württemberg spielt diese Verordnung jedoch nur eine untergeordnete Rolle, da diese erst für Schiffe über 5.000 Bruttoregistertonnen gilt und Binnenschiffe i.d.R. über geringere Kapazitäten verfügen.

Ein weiterer offener Punkt zum Zeitpunkt der Veröffentlichung der Roadmap war die Ausgestaltung des Delegierten Rechtsakts zu Art. 27 RED II, der definiert, wie „grüner“ Wasserstoff bzw. Renewable Fuels of Non-Biological Origin (RFNBO) produziert sein müssen, um auf die Treibhausgasminderungsquote im Verkehr angerechnet werden zu können. Dieser Delegierte Rechtsakt wurde am 10.02.2023 verabschiedet und legt strenge Kriterien bezüglich des Strombezugs an: Zusätzlichkeit der erneuerbaren Stromerzeugung, zeitliche Korrelation der Produktion von erneuerbarem Strom und Wasserstoff und geografischen Korrelation der Erzeugungsanlagen – wenngleich Übergangsfristen erste Anlagen auch ohne die Einhaltung dieser strengen Kriterien ermöglichen sollten. Das Zusätzlichkeitskriterium gibt für Anlagen, die ihren Strom aus dem öffentlichen Stromnetz beziehen vor, dass diese den Nachweis über den Bezug von erneuerbarem Strom über ein Power-Purchase-Agreement (PPA) nachweisen müssen, das mit Betreibern von erneuerbaren Stromerzeugungsanlagen geschlossen wurde, die maximal 36 Monate vor der Elektrolyseanlage in Betrieb genommen wurden und keinerlei Fördermittel in Anspruch genommen haben dürfen. Für RFNBO-Anlagen, die vor dem 31.12.2027 in Betrieb gehen, können auch PPAs mit anderen erneuerbaren Stromerzeugungsanlagen geschlossen werden. Nach dem 31.12.2037 müssen auch diese Anlagen das Zusätzlichkeitskriterium erfüllen. Allerdings ist zu erwarten, dass dann in Deutschland bereits mehr als 90% der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien stammt. Ist dies der Fall, entfällt der Nachweis der Zusätzlichkeit. Bezüglich der zeitlichen Korrelation gibt der delegierte Rechtsakt vor, dass der erneuerbare Strom und der Wasserstoff in der gleichen Kalenderstunde produziert werden müssen. Auch hier gibt es eine Übergangsfrist. Bis zum 31.12.2029 muss der Nachweis nur kalendermonatlich erfolgen, danach aber für alle Anlagen kalenderstündlich. Die räumliche Korrelation orientiert sich an den Gebotszonen: Erneuerbarer Strom und Wasserstoff müssen in der gleichen Gebotszone produziert werden oder in „verbunde-



nen“ Gebotszonen, wenn dort der Strompreis gleich oder höher war. Da für eine wirtschaftliche Produktion von reFuels große Produktionsanlagen benötigt werden, ist davon auszugehen, dass diese die Vorzüge der Übergangsfristen nicht in Anspruch nehmen werden können, sondern die Kriterien von Beginn an vollständig erfüllen müssen. Diese erscheinen als großes Hemmnis, sowohl für den Wasserstoffhochlauf als auch für die Entwicklung einer reFuels-Produktion.

Ein zweiter Delegierter Rechtsakt zu Art. 28 RED II definiert die Methodik zur Berechnung der Treibhausgas-Emissionseinsparungen für RFNBO und macht sehr klare Vorgaben hinsichtlich der nutzbaren CO₂-Quellen für synthetische Kraftstoffe. Die Nutzung von Punktquellen wie das unvermeidbare prozessbedingte CO₂ aus der Zementindustrie ist nur bis 2040 für die Produktion von RFNBO zugelassen. Nach diesem Zeitpunkt sind mit Zement-CO₂ produzierte RFNBO nicht mehr anrechenbar. Dauerhaft zugelassene CO₂-Quellen sind biogene Quellen und Direct Air Capture – beides (noch) keine großvolumigen CO₂-Lieferanten. Auch diese Regelung hemmt den Aufbau von Erzeugungskapazitäten gerade an großen Punktquellen, weil keine Investitionen getätigt werden, da die Zeitspanne bis 2040 zu kurz ist, um ausreichend Kapitalrückflüsse zu generieren.

Neben regulatorischen Aspekten erschwert auch der Mangel an konkreten Bundesförderprogrammen für Produktionsanlagen den Hochlauf. Trotz zahlreicher Aktivitäten in Baden-Württemberg, siehe hierzu insbesondere Abschnitt 4.1, fehlt es derzeit an spezifischen Förderprogrammen auf Bundesebene, die die Schaffung von großskaligen reFuels-Produktionsanlagen unterstützen.



4. Umsetzungsstand der in der Roadmap reFuels hinterlegten Maßnahmen (Monitoring)

Die Roadmap reFuels für Baden-Württemberg verfolgt das Ziel, einen systematischen und koordinierten Markthochlauf klimaneutraler Kraftstoffe (reFuels) in Baden-Württemberg zu ermöglichen. Neben einem Hochlauf der Kraftstoffproduktion und der Abnahme an reFuels ist auch die Positionierung der Industrie Baden-Württembergs auf dem Weltmarkt angelegt. Für die Umsetzung sind vielfältige Maßnahmen in der Roadmap enthalten. Diese Maßnahmen gliedern sich in drei strategisch aufeinander abgestimmte Handlungsfelder: Maßnahmen zur Steigerung des Angebots an reFuels, Maßnahmen zur Stärkung der Nachfrage nach reFuels sowie Maßnahmen im Bereich Forschung, Entwicklung und Technologiediffusion. Diese Maßnahmenbereiche adressieren die wesentlichen Stellschrauben für einen erfolgreichen Markthochlauf – von der industriellen Produktion über die Marktdurchdringung bis hin zur technologischen Weiterentwicklung – und verfolgen das Ziel, sowohl die Treibhausgasemissionen im Verkehrssektor zu senken als auch die industrielle Wettbewerbsfähigkeit Baden-Württembergs im internationalen Kontext zu stärken.

Dieser Abschnitt des Fortschrittsberichts stellt den aktuellen Stand der Umsetzung der drei Maßnahmenbereiche dar. Dabei werden jeweils die bereits initiierten oder abgeschlossenen Aktivitäten systematisch erfasst und hinsichtlich ihres Beitrags zur Zielerreichung der Roadmap eingeordnet. Die Analyse erlaubt eine differenzierte Betrachtung des bisherigen Fortschritts in den einzelnen Handlungsfeldern und bietet gleichzeitig eine Grundlage für die Bewertung bestehender Herausforderungen, etwa im Hinblick auf technologische Reifegrade, regulatorische Rahmenbedingungen oder Marktakzeptanz.

In der Gesamtschau trägt die angedachte Fortschreibung der Roadmap und die damit verbundene Bewertung des Umsetzungsstands dazu bei, die Roadmap nicht nur als strategisches Planungsinstrument, sondern auch als dynamisches Steuerungs- und Monitoringinstrument weiterzuentwickeln. Dies ist essenziell, um auf Veränderungen im politischen, wirtschaftlichen oder technologischen Umfeld reagieren und die Transformation hin zu einer klimaneutralen Kraftstoffversorgung wirkungsvoll gestalten zu können.



4.1. Maßnahmen zur Steigerung des Angebots an reFuels

In diesem Unterkapitel werden die einzelnen Maßnahmen der Roadmap reFuels mit Fokus auf die Angebotsseite dargestellt. Darüber hinaus gibt es Projekte, die thematisch mehreren Maßnahmen zugeordnet werden können oder eine übergeordnete Funktion einnehmen. Diese Projekte werden ggf. mehrfach genannt, sofern diese zum inhaltlichen Fortschritt und Gesamtverständnis mehrerer Maßnahmen beitragen.

M 1: Aufbau einer Demonstrationsanlage für die klimaneutrale Raffinerie der Zukunft

Maßnahme M 1 verfolgt das Ziel, eine Demonstrationsanlage zur Produktion von reFuels mit einem Jahresoutput von mindestens 50.000 Tonnen aufzubauen. Sie baut auf den beiden Projekten „reFuels I – Kraftstoffe neu denken“ und dem Folgeprojekt reFuels II koordiniert durch das KIT auf. In diesem Rahmen gab es bereits intensive Überlegungen zu einer Fischer-Tropsch-Anlage.

Zur Maßnahmenumsetzung wurden einige größtenteils vorbereitende Aktivitäten durchgeführt, die bei der Realisierung einer Anlage als Datenbasis oder als Konzeption dienen. Wesentliche Fortschritte wurden dabei im Rahmen mehrerer flankierender Projekte erzielt, darunter die Konzeptplanung für eine Demonstrationsanlage zur Erzeugung erneuerbarer Kraftstoffe sowohl auf Fischer-Tropsch-Basis als auch auf Methanolbasis bei der Raffinerie in Karlsruhe, das Projekt SAF@STR, die Studie „Regulatorischer Rahmen und Business Modelle für reFuels“ sowie eine Studie zur Untersuchung von biogenem CO₂ für die SAF-Produktion als Teil der Durchführbarkeitsstudie für PtL-Kerosin. Weitere Projekte zur Transformation von Anlagen zur Produktion klimaneutraler Kraftstoffe in den industriellen Maßstab sowie zur Produktionsinfrastruktur für PtL-Kerosin erarbeiteten die wissenschaftlichen Grundlagen für Anlageninvestitionen zur Synthese regenerativer Kraftstoffe erarbeitet, um Raffinerien in „grüne Raffinerien“ transformieren zu können. Insgesamt dienen diese Studien zur Vorbereitung der Schaffung von reFuels-Angeboten bzw. -Produktionsanlagen.

Das Land Baden-Württemberg hat die Umsetzung von Maßnahme M 1 im Rahmen seiner Möglichkeiten bestmöglich unterstützt. Der Aufbau einer konkreten Demonstrationsanlage konnte aufgrund fehlender Unterstützung auf Bundesebene, z. B. durch Ausschreibung einer Förderung zum Aufbau von reFuels-Produktionsanlagen und fehlender Geschäftsmodelle für die Gesellschafter durch den regulatorischen Rahmen der EU bislang nicht in Baden-Württemberg initiiert werden und es blieb somit bei vorbereitenden und unterstützenden Studien und Konzeptentwicklungen. Ein weiterer Aspekt, der die Umsetzung von Maßnahme M 1 hemmt, ist die Gesellschafterstruktur der Mineraloelraffinerie Oberrhein (MiRO), die aus vier Gesellschaftern besteht.

Aufgrund ungeeigneter regulatorischer Maßnahmen ruhen derzeit auch die Aktivitäten zum Standortwettbewerb für eine Anlage, die importiertes grünes Methanol aus Chile zu PtL-Kerosin und PtL-Benzin weiterverarbeitet. Vor diesem Hintergrund fand ein intensiver und enger Austausch mit der MiRO in Karlsruhe statt, in dem Lösungsmöglichkeiten und das weitere Vorgehen umfassend diskutiert wurde. Für die Fortschreibung der Roadmap reFuels muss geprüft werden, ob der Aufbau einer industriellen Demonstrationsanlage weiterhin zielführend ist oder ob stattdessen regionale kleinere oder modulare Anlagen zur Steigerung des reFuels-Angebots unterstützt werden sollten. Es wurden bereits einige wenige großskalige



Produktionsanlagen außerhalb Baden-Württembergs angekündigt, z. B. das Projekt Concrete Chemicals². Finale Investitionsentscheidungen sind bei den Projektankündigungen jedoch größtenteils noch nicht getroffen worden, weshalb die weiteren Entwicklungen kontinuierlich verfolgt werden müssen.

Projekte zur Umsetzung von Maßnahme M 1:

- Forschungsunterstützte Maßnahmen zur Transformation von Anlagen für klimaneutrale Kraftstoffe (reFuels) in den industriellen Maßstab (reFuels DEMO) (KIT)
- Produktionsinfrastruktur für e-Kerosin (KIT)
- e-fuels fürs Länd (Fraunhofer ISE)
- Konzeptplanung für eine Demonstrationsanlage zur Erzeugung erneuerbarer Kraftstoffe auf Methanolbasis bei der MiRO (KIT, CAC)
- SAF@STR – Studie für eine Technologieentscheidung für eine Produktionsanlage für SAF für den Flughafen Stuttgart (PtL oder AtJ) (Flughafen Stuttgart, SkyNRG)
- Regulatorischer Rahmen und Business Modelle für reFuels (Frontier Economics)
- Studie Sicherung der erneuerbaren Kraftstoffversorgung in Baden-Württemberg (Frontier Economics)

Ruhende Aktivitäten:

- Antragsskizze für eine Demonstrationsanlage zur reFuels-Produktion am Standort der MiRO
- Aktivitäten von HIF Global zum Standortwettbewerb für eine Methanolanlage (HIF)

M 2: Skalierung der Produktionstechnologie in den 500.000 Tonnen-Maßstab

Im Rahmen von Maßnahme M 2 wurden mehrere vorbereitende Studien abgeschlossen, die wichtige Erkenntnisse zur technischen und wirtschaftlichen Machbarkeit einer großskaligen Produktion strombasierter Kraftstoffe generiert haben. Einige dieser Vorhaben überschneiden sich inhaltlich mit Maßnahme M 1, insbesondere im Bereich konzeptioneller und technischer Vorarbeiten. Ergänzend wurden die Projekte zur Transformation in den industriellen Maßstab (reFuels DEMO) sowie das internationale Projekt SolarHy Córdoba, das Entwicklungen im Bereich grüner Wasserstoff und dessen Nutzung für reFuels initiiert. Die Umsetzung erfolgt ohne finanzielle Förderung des Verkehrsministeriums Baden-Württemberg, wurde jedoch politisch durch das Ministerium vor Ort in Andalusien unterstützt.

Trotz dieser Vorarbeiten existieren derzeit keine konkreten Planungen oder Initiativen zur Umsetzung einer Produktionsanlage im Maßstab von 500.000 Tonnen pro Jahr in Baden-Württemberg (siehe hierzu auch Maßnahme M 1). Ein wesentlicher Flaschenhals für die Skalierung der Technologie sind vor allem regulatorische Unsicherheiten und Herausforderungen, sowohl auf unternehmerischer Seite im Hinblick auf Investitionssicherheit und Wirtschaftlichkeit, als auch auf regulatorischer Seite hinsichtlich des Bezugs und des Einsatzes und der Nutzung von grünem Wasserstoff und CO₂ zur Produktion von reFuels.

² <https://www.concrete-chemicals.eu/>



Projekte zur Umsetzung von Maßnahme M 2:

- Forschungsunterstützte Maßnahmen zur Transformation von Anlagen für klimaneutrale Kraftstoffe (reFuels) in den industriellen Maßstab (reFuels DEMO) (KIT)
- SolarHy Córdoba – Wasserstoffproduktion für die MiRO-Anlage und Untersuchung von Transportoptionen (Viridi)
- SAF@STR – Studie für eine Technologieentscheidung für eine Produktionsanlage für SAF für den Flughafen Stuttgart (PtL oder AtJ) (SkyNRG)
- Regulatorischer Rahmen und Business Modelle für reFuels (Frontier Economics)

Ruhende Aktivitäten:

- Aktivitäten von HIF Global zum Standortwettbewerb für eine Methanolanlage (HIF)

M 3: Studie zur Technologieentwicklung für die Abscheidung von CO₂ in der Zementproduktion zur Nutzung als Rohstoff für reFuels

Im Rahmen von Maßnahme M 3 wurden mehrere Projekte initiiert, um das Potenzial der CO₂-Abscheidung aus der Zementproduktion als Kohlenstoffquelle für reFuels zu untersuchen und die Realisierung bestehender Potenziale vorzubereiten. Abgeschlossen wurde eine Studie zur Untersuchung von biogenem CO₂ als Teil der Durchführbarkeitsstudie für PtL-Kerosin erstellt (ERM). Diese Studie kommt zu dem wichtigen Ergebnis, dass spätestens ab 2040 nicht ausreichend CO₂ aus biogenen Quellen zur Verfügung stehen wird und deshalb weitere, auch industrielle, CO₂-Quellen erschlossen werden müssen.

Aufgrund geltender rechtlicher Rahmenbedingungen konnte der Aufbau einer reFuels-Produktionsanlage unter Nutzung von eigens abgeschiedenem CO₂ aus der Zementindustrie bislang aber nicht erreicht werden. Gemäß EU-Regularien gilt CO₂ aus der Zementindustrie für die Produktion von reFuels nur bis zum Jahr 2040 als klimaneutral, danach ist eine Anrechnung nicht mehr möglich. Dies verhindert Aufbau und den wirtschaftlichen Betrieb einer Anlage zur Produktion von reFuels unter Nutzung von CO₂ aus der Zementindustrie, da die Amortisationsphase bis zu diesem Zeitpunkt deutlich zu kurz ist.

Deshalb wurden insbesondere zwei weitere Vorhaben im Rahmen der Maßnahme M 3 initiiert. Zum einen wird ein möglicher bilanzieller Ausgleich von CO₂ aus Zementwerks-Abgasen mit CO₂ aus biogenen Stoffströmen und DAC für die Produktion von SAF und weiterer Produkte als Teil der Durchführbarkeitsstudie für PtL-Kerosin untersucht. Dadurch sollen Lösungsmöglichkeiten für den Einsatz von CO₂ aus der Zementindustrie als Rohstoff für weitere Folgeprozesse (Carbon Capture an Use) unter Anwendung eines bilanziellen Ausgleichs der Emissionen aus dem Zementwerk durch Langfristspeicherung von CO₂ in Gesteinschichten mittels Direct Air Capture oder BECCS entwickelt werden. Mit einer weiteren Studie wird die notwendige CO₂-Infrastruktur analysiert, um Transport und Nutzung des in Zementwerken abgeschiedenen CO₂ für reFuels-Anwendungen zu ermöglichen.



Projekte zur Umsetzung von Maßnahme M 3:

- Bilanzieller Ausgleich von CO₂ aus Zementwerksabgasen mit CO₂ aus biogenen Stoff-Strömen und DAC schwerpunktmäßig für die Produktion von SAF (Teil der Durchführbarkeitsstudie PtL-Kerosin) (ZSW)
- Machbarkeitsstudie zur Erzeugung von synthetischem Kerosin aus Zementwerk-Abgasen – CO₂ als Rohstoff für reFuels (Ineratec)
- Studie zu einer nachhaltigen Transportinfrastruktur für CO₂ für die Nutzung von CO₂ für SAF (Teil der Durchführbarkeitsstudie PtL-Kerosin) (DBI + dialogik)
- Assessment of European biogenic CO₂ balance für SAF production (Teil der Durchführbarkeitsstudie PtL-Kerosin) (ERM)

M 4: Aufbau von Energiepartnerschaften für den Import grüner Produkte und Exportunterstützung speziell für KMU

Im Rahmen von Maßnahme M 4 wurden erste konkrete Schritte unternommen, um internationale Energiepartnerschaften als Grundlage für den Import grüner Kraftstoffe aufzubauen. Ziel ist es, den geplanten Markthochlauf von reFuels durch gesicherte internationale Lieferketten und geeignete Kooperationsstrukturen langfristig zu unterstützen. So wurde eine länderspezifische Studie zu Marokko abgeschlossen, die Potenziale für eine bilaterale Zusammenarbeit im Bereich grüner Kraftstoffe identifiziert. Die Ergebnisse dienen als fachliche Grundlage für eine Delegationsreise. Weitere Vereinbarungen, Aktivitäten oder auch Delegationsreisen fanden gemeinsam mit Andalusien, Schottland, Chile oder auch Katalonien statt.

Im Jahr 2024 wurde eine Studie zur Sicherung der Kraftstoffversorgung für Baden-Württemberg erstellt. Hauptziele der Studie waren die Identifikation und Analyse geeigneter Lieferländer für reFuels-Importe unter Berücksichtigung der aktuellen EU-Regulatorik sowie die Klärung der Handlungsmöglichkeiten der Landesministerien bei Abnahmevereinbarungen. Diese Projekte tragen dazu bei, die Voraussetzungen für den geplanten Markthochlauf von reFuels durch den Aufbau internationaler Partnerschaften und Sicherstellung der Versorgung mit PtL, Methanol oder auch Green Crude zu schaffen. Aufgrund der Zurückhaltung auf der internationalen Ebene zur Produktion von reFuels ist es noch nicht gelungen, strombasierte Kraftstoffe nach Baden-Württemberg zu importieren. Die Gründe hierfür sind vielfältig: Einen wesentlichen Beitrag hat der regulatorische Rahmen auf EU-Ebene, der die Einfuhr insbesondere von strombasierten Kraftstoffen hemmt. Aber auch die mangelnde Verfügbarkeit von grünem Wasserstoff auf internationaler Ebene, fehlende Abnahmeverpflichtungen oder Zurückhaltung von Investoren aufgrund finanzieller Risiken.

Projekte zur Umsetzung von Maßnahme M 4:

- Studie Marokko, Austausch und Delegationsreise (Growing Markets)
- Studie Sicherung der erneuerbaren Kraftstoffversorgung in Baden-Württemberg (Frontier Economics)



Erweiterte Maßnahmen der Angebotsseite:

Neben Projekten, die explizit den Maßnahmen der Roadmap zugeordnet werden können, wurden weitere Aktivitäten für den Hochlauf von Produktionskapazitäten für reFuels initiiert bzw. durchgeführt. Abgeschlossen wurde unter anderem das Projekt **Direct Air Capture made in Baden-Württemberg** zur Entwicklung von Direct-Air-Capture-Technologien als einen wichtigen Baustein zur Rohstoffversorgung für die reFuels-Produktion (ZSW und DLR). Ein weiteres Ziel dieses Vorhabens war der Aufbau eines Industriedialogs zur DAC-Technologie in Baden-Württemberg und damit die Qualifizierung von Unternehmen für den Technologieeinstieg.

Auch das Projekt **Vorbereitung zur Produktionsinfrastruktur für e-Kerosin und Koppelprodukte für Verarbeitung, Produktion, Qualitätssicherung und Logistik** am Beispiel der MiRO (KIT) stellt einen Baustein auf dem Weg zu einer großskaligen Produktionsanlage dar.

Das Projekt **DACFit**, das eine Weiterentwicklung der DAC-Technologie u. a. durch den Aufbau von Komponenten-Testständen für die Simulation verschiedener klimatischer Bedingungen mit zugehörigen Standortanalysen kombiniert, wird derzeit ebenfalls durchgeführt (ZSW). Der Aufbau und die Inbetriebnahme von variablen Blendanlagen zur Herstellung Bilanzierungsgerechter reFuels-Kraftstoffblends (**BlendBilanz4Mobility**) stärkt wie die vorgenannten Aktivitäten die technische und infrastrukturelle Grundlage für die Markteinführung von reFuels und ergänzt damit die Roadmap-Maßnahmen der Angebotsseite (Exolum und KIT). Das Projekt „**Prescreening für eine beschleunigte Einführung von SAF**“ adressiert die frühe Entwicklungsphase von erneuerbaren Kraftstoffen: Mit dem beim DLR entwickelten Prescreening-Verfahren und einer Simulationsplattform soll die Möglichkeit geboten werden, schon anhand kleinster Kraftstoffmengen dessen Zusammensetzung zu charakterisieren und entscheidende technische und zulassungsrelevante Eigenschaften vorherzusagen. Ziel ist eine schnellere Markteinführung von Kraftstoffen.

Das Land Baden-Württemberg hat somit neben den in der Roadmap hinterlegten Maßnahmen bereits zahlreiche weitere Aktivitäten angestoßen bzw. umgesetzt, die den Hochlauf der Produktion von reFuels nicht nur im Land begleitend unterstützen sollen.

Als eine zentrale Maßnahme zur Steigerung des Angebots an reFuels hat das Land Baden-Württemberg zudem den Aktionsplan reFuels gemeinsam mit vielen Stakeholdern entwickelt. Er soll Investitionen in industrielle Großanlagen für strombasierte Kraftstoffe anstoßen und damit den Hochlauf von reFuels beschleunigen. Der Aktionsplan richtet sich besonders an die EU und fordert gezielte Anpassungen des Rechtsrahmens, um Planungssicherheit zu schaffen und tragfähige Geschäftsmodelle entwickeln zu können und damit den Bau von industriellen Produktionsanlagen in Europa und Importe von außerhalb Europas zu ermöglichen. Es werden acht zentrale Handlungsfelder benannt: praxisgerechte Übergangsregeln bei Grünstromkriterien, die Nutzung unvermeidbarer industrieller Kohlenstoffdioxidemissionen auch über das Jahr 2040 hinaus, klare Importregeln und ein europäisches Book- and Claim-System für den Einsatz von reFuels. Mit diesem Vorstoß will Baden-Württemberg die EU-Kommission zu schnellerem Handeln bei delegierten Rechtsakten bewegen und so einen funktionierenden Markt für reFuels in Europa ermöglichen. Die folgende Abbildung zeigt die acht zentralen Stellschrauben aus dem Aktionsplan für den Einstieg in die industrielle Produktion reFuels.



✓ Praxisgerechte Übergangsregeln bei Grünstromkriterien	✓ Nutzung unvermeidbarer industrieller CO ₂ -Emissionen auch nach 2040	✓ Vereinfachte Regeln für die gemeinsame Verarbeitung Rohstoffen	✓ Realistische Importregeln für PtL-Kraftstoffe aus Drittstaaten
✓ Einen klaren Fahrplan zur Klimaneutralität 2050 für mehr Planungssicherheit	✓ Einen regulatorischen Bestandsschutz für erste PtL-Anlagen	✓ Abbau finanzieller Risiken durch Abnahmeverträge und Förderinstrumente	✓ Ein europäisches Extern: Book-&-Claim-System und eine funktionierende Nachweiskette für SAF

Abbildung 1: Acht zentrale Stellschrauben für den Einstieg in die industrielle Produktion von reFuels³.

Übersicht über die ergänzenden Projekte für die Angebotsseite:

- Bilanzieller Ausgleich von CO₂ aus Zementwerksabgasen mit CO₂ aus biogenen Stoff-Strömen und DAC schwerpunktmäßig für die Produktion von SAF (Teil der Durchführbarkeitsstudie PtL-Kerosin) (ZSW)
- Studie zu einer nachhaltigen Transportinfrastruktur für CO₂ für die Nutzung von CO₂ für SAF (Teil der Durchführbarkeitsstudie PtL-Kerosin) (DBI + dialogik)
- Vorbereitung einer Produktionsinfrastruktur für e-Kerosin und Koppelprodukte für Verarbeitung, Produktion, Qualitätssicherung und Logistik am Beispiel der MiRO (KIT)
- DACfit – DAC-Technologiebenchmark für reFuels-Produktionsstandorte (ZSW)
- Aufbau und Inbetriebnahme einer variablen Blendanlage zur Herstellung Bilanzierungsgerechter reFuels-Kraftstoffblends – BlendBilanz4Mobility (Exolum)
- Beschleunigte Einführung klimafreundlichster SAFs durch PreScreening (BESP) (DLR)
- Aktionsplan reFuels (Verkehrsministerium BW)
- Direct Air Capture made in Baden-Württemberg (ZSW)
- Regulatorischer Rahmen und Business Modelle für reFuels (Frontier Economics)

³ <https://www.baden-wuerttemberg.de/de/service/presse/pressemitteilung/pid/aktionsplan-refuels-vorgelegt>



4.2. Maßnahmen zur Steigerung der Nachfrage nach reFuels

Baden-Württemberg hat sich mit der Roadmap reFuels zum Ziel gesetzt, über die Entwicklung und Nutzung klimaneutraler Kraftstoffe in den nicht elektrifizierbaren Bereichen des Verkehrssektors das Erreichen des Klimaneutralitätsziels 2040 bzw. in der Landesverwaltung bereits bis zum Jahr 2030 sicherzustellen. Die Roadmap enthält deshalb zahlreiche Maßnahmen, die die Markteinführung von reFuels in Baden-Württemberg durch gezielte Anreize zur Steigerung der Nachfrage unterstützen sollen. Um hierfür die notwendige Faktenbasis zu schaffen, wurden im Rahmen des Monitorings der Roadmap reFuels – selbst eine Maßnahme der Roadmap (M 15 „Monitoring der Roadmap und Nachsteuern mit weiteren Maßnahmen“) – die für die Umsetzung der Maßnahmen benötigten theoretischen Kraftstoffbedarfe in verschiedenen Nachfragesegments bis zum Jahr 2040 ermittelt. Dabei wurde der Hochlauf des Bedarfs so gewählt, dass das Ziel der Treibhausgasneutralität in jedem Maßnahmenfeld bis spätestens 2040 – mit Ausnahme des Flugverkehrs, der insbesondere von europäischen Vorgaben abhängig ist – erreicht wird. Für die Landesverwaltung und die Landespolizei gilt das Ziel der Treibhausgasneutralität laut KlimaG BW bereits 2030. Dies wurde entsprechend berücksichtigt.

Da reFuels vor allem dort eingesetzt werden sollen, wo eine Elektrifizierung aus technischen, infrastrukturellen, wirtschaftlichen oder sicherheits- bzw. resilienzbezogenen Gründen nicht möglich ist, wurde für die Analyse der benötigten reFuels-Mengen das jeweilige Elektrifizierungspotenzial des Anwendungsbereichs berücksichtigt. Die Diffusion der Elektroantriebe wurde mittels Expertengesprächen in den verschiedenen Anwendungssegmenten verifiziert. Es wurde zudem unterstellt, dass zukünftige Mehrbedarfe an Kraftstoffen durch größere Fahrzeugflotten oder -laufzeiten durch Effizienzmaßnahmen ausgeglichen werden – eine Annahme, die durch die zu beobachtende Entwicklung in der Vergangenheit bestätigt wird. Für den Zugverkehr (Maßnahme M 8 „Klimaneutraler Zugverkehr“) konnten noch keine Kraftstoffbedarfe identifiziert werden. Da für diesen Bereich jedoch eine umfassende Elektrifizierungsstrategie verfolgt wird, dürften die Kraftstoffmengen zukünftig einen relativ geringen Umfang ausmachen. Mögliche Bedarfe entstehen hier vsl. für Rangierloks und Reparaturloks sowie für Fahrzeuge und zu erhaltende Fahrzeugpools, die zur Sicherstellung der Versorgungs- und Betriebssicherheit im Sinne der Resilienz weiterhin mit Diesel betrieben werden müssen.

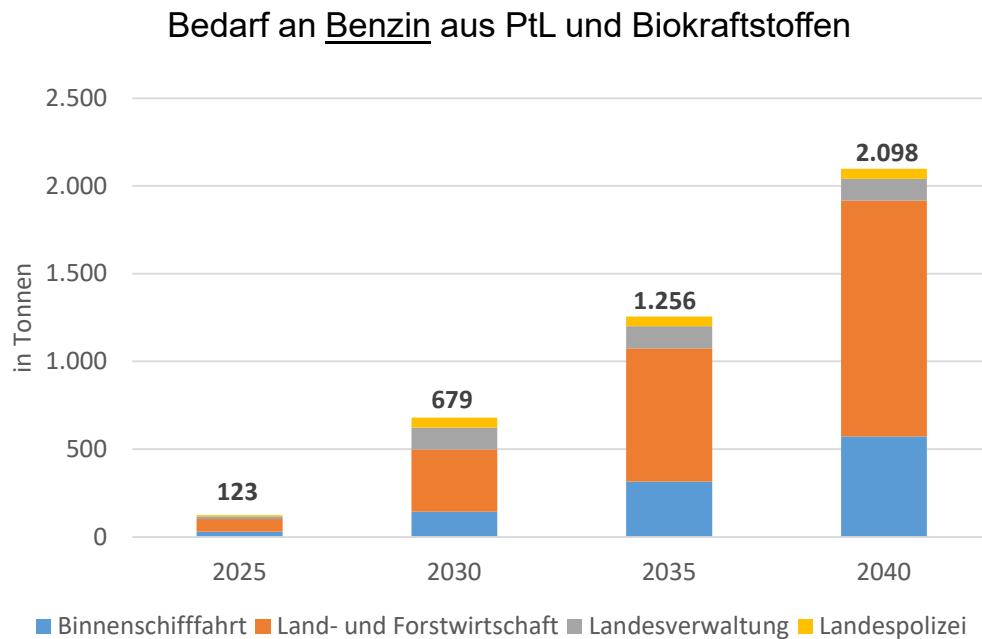


Abbildung 2: Im Rahmen von Maßnahme M 15 identifizierte Bedarfe an Benzin aus PtL und Biokraftstoffen in den Nachfragebereichen der Roadmap reFuels bis 2040 (Quelle: ZSW).

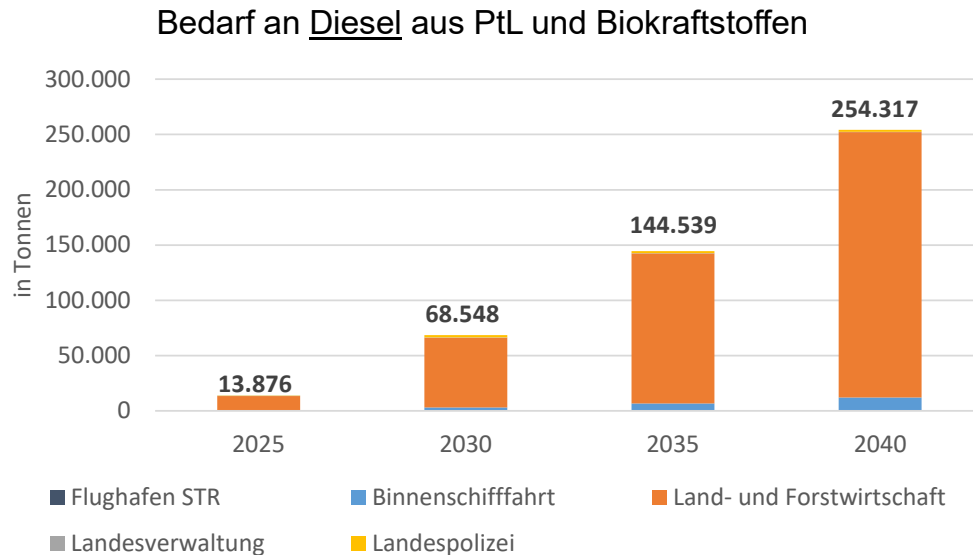


Abbildung 3: Im Rahmen von Maßnahme M 15 identifizierte Bedarfe an Diesel aus PtL und Biokraftstoffen in den Nachfragebereichen der Roadmap reFuels bis 2040 (Quelle: ZSW). Beim Flughafen Stuttgart umfasst der Dieselbedarf den Bedarf der Fahrzeugflotte auf dem Flughafenvorfeld.

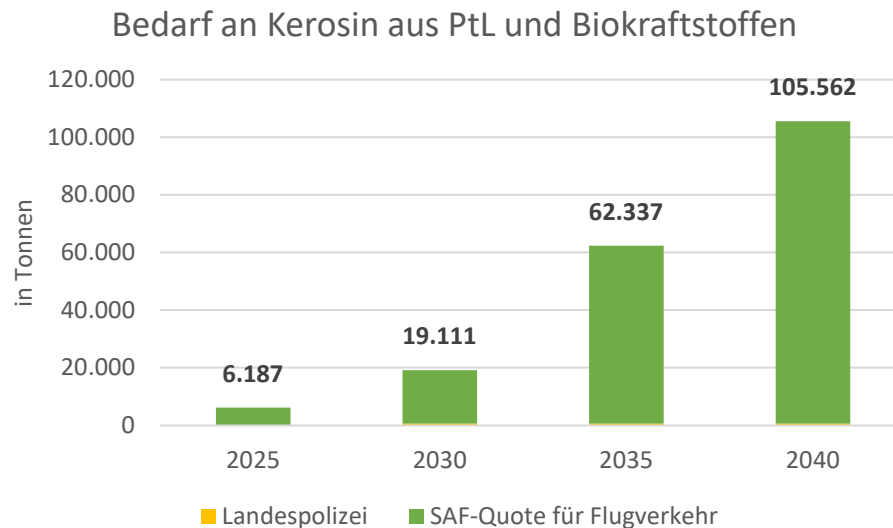


Abbildung 4: Im Rahmen von Maßnahme M 15 identifizierte Bedarfe an Kerosin aus PtL und Biokraftstoffen in den Nachfragebereichen der Roadmap reFuels bis 2040 (Quelle: ZSW). Die SAF-Quote umfasst die Bedarfe, die sich aufgrund der europäischen SAF-Quote für Flugkraftstoffe für Baden-Württemberg ergeben. Während die SAF-Quote auch durch Biokraftstoffe erfüllt werden kann, ist eine zusätzliche PtL-Unterquote ausschließlich durch PtL zu erfüllen⁴.

Abbildung 2, Abbildung 3 und Abbildung 4 zeigen, dass der überwiegende Teil des in den Szenarien identifizierten Benzin- und Diesel-Bedarfs auf die Land- und Forstwirtschaft entfällt. In diesem Bereich besteht aufgrund der Fahrzeugeinsatzprofile nur ein geringfügiges Elektrifizierungspotenzial. Dies belegen auch die Studien von d-fine „Kurzstudie zur Analyse der Optionen für eine schnelle Einführung emissionsfreier bzw. CO₂-neutral betriebener Fahrzeuge in der Landwirtschaft in Baden-Württemberg“ sowie „Studie zum Technologievergleich unterschiedlicher Antriebsoptionen für treibhausgasneutrale schwere landwirtschaftliche Fahrzeuge“. Auch der Einsatz von Wasserstoff ist hier voraussichtlich nur schwer in großem Maßstab möglich. Der Bedarf an Kerosin entsteht zum einen geringen Anteil bei der Hubschrauberflotte der Landespolizei und überwiegend für die Erfüllung der SAF-Quoten nach der ReFuelAviation-Richtlinie der EU zusammen.

In den meisten Maßnahmenfeldern zur Steigerung der Nachfrage nach reFuels wurden vom Land Baden-Württemberg bereits vielfältige vorbereitende Maßnahmen durchgeführt. Um zunächst einen guten Einblick in die entsprechenden Anforderungen der unterschiedlichen Maßnahmenbereiche erhalten zu können, fokussierten sich die meisten Aktivitäten auf vorbereitende Studien. Im Zuge der Fortschreibung der Roadmap reFuels sollte der Fokus nun stärker auf den konkreten Hochlauf des Einsatzes von reFuels in den Maßnahmenfeldern gelegt werden. Insbesondere für die Schifffahrt auf dem Bodensee konnte dies durch das Verkehrsministerium bereits erfolgreich initiiert werden (siehe Maßnahme M 7). Auch bei der Landespolizei wurde ein Pilotversuch zum Einsatz von HVO100 erfolgreich durchgeführt (siehe Maßnahme M 11).

⁴ So besteht bspw. für 2030 eine PtL-Quote von 1,2 %, die SAF-Quote insgesamt beträgt 6 %.



M 5: Klimaneutraler Flughafen

Am Flughafen Stuttgart werden im Vorfeldbetrieb derzeit 356 Tonnen Dieselmotorkraftstoff pro Jahr verbraucht. Auf Basis einer ersten Abschätzung wird im Jahr 2040 trotz einer zunehmenden Elektrifizierung des Flughafenfuhrparks weiterhin etwa die Hälfte des heutigen Kraftstoffbedarfs durch Dieselmotorkraftstoff gedeckt werden müssen. Daraus ergibt sich eine potenzielle reFuels-Nachfrage von 178 Tonnen Diesel im Jahr 2040.

Stand der Maßnahmenumsetzung:

Im Rahmen der Umsetzung der Roadmap reFuels konnten erste Fortschritte zur Maßnahmenumsetzung über das Monitoringvorhaben (Maßnahme M 15) erreicht werden, z. B. über die Identifikation potenzieller reFuels-Bedarfe bis 2040. Zusätzlich fanden mehrere Austauschrunden mit der Flughafen Stuttgart GmbH statt. Die Flughafen Stuttgart GmbH hat selbst weitere Aktivitäten im Rahmen der Umsetzung von Maßnahme M 5 ergriffen. Da diese im Wesentlichen auch den Flugverkehr betreffen und über die reine Betrachtung des Flughafenvorfelds hinaus gehen, wird der Stand der Maßnahmenumsetzung im Abschnitt zur Maßnahme M 6 weiter konkretisiert.

M 6: Klimaneutrales Fliegen ab Stuttgart bis 2040

Derzeit werden in Baden-Württemberg jährlich rund 309.000 Tonnen Jet A-1 für den Flugbetrieb verbraucht. Aufgrund der zu erwartenden technischen Entwicklung und der eingesetzten Flugzeugflotte wird davon ausgegangen, dass bis zum Jahr 2040 keine nennenswerten Anteile an elektrifizierten und wasserstoffbasierten Flugzeugen eingesetzt werden können. Dies belegt die Studie „Fliegen mit SAF und Wasserstoff – Bedarfsanalyse für SAF und Wasserstoff im Luftverkehr in Baden-Württemberg“ von d-fine. Reduktionspotenziale für den Kraftstoffbedarf durch Elektrifizierung oder den Einsatz von Wasserstoff sind daher nicht (kurzfristig) zu erwarten.

Die europäische ReFuelEU Aviation Richtlinie gibt einen schrittweisen Anstieg der Quote für Sustainable Aviation Fuels (SAF) bis 2040 auf 34 % vor. Für Baden-Württemberg ergeben sich somit bis zum Jahr 2040 reFuels-Bedarfe in Höhe von 104.976 Tonnen.

Der Hochlauf von SAF am Flughafen Stuttgart und damit auch die Umsetzung von Maßnahme M 6 hängt maßgeblich von den europäischen (regulatorischen) Rahmenbedingungen ab. Die SAF-Quote an sich stellt zwar bereits einen wesentlichen Treiber für die Steigerung der Nachfrage an reFuels dar. Trotz der verabschiedeten Quoten ist dennoch eine deutliche Zurückhaltung bei den relevanten Marktakteuren zu beobachten wie bereits die internationale Entwicklung zu PtL-Kraftstoffen in Abschnitt 5 deutlich zeigt. Für das Angebot an reFuels für den Flugverkehr stehen derzeit ausschließlich Biokraftstoffe zur Verfügung. Die Nutzung für Unternehmensflüge ist zwar grundsätzlich möglich, die Anrechnung und Zertifizierung wirft jedoch noch Fragen auf. Zudem ist ein mögliches Book & Claim-System europaweit noch nicht abgestimmt.



Trotz der eingeschränkten Handlungsmöglichkeiten hat das Land Baden-Württemberg seinen Einfluss und seine Möglichkeiten zum weiteren Anreizen des reFuels-Hochlaufs für klimaneutrales Fliegen genutzt. Zum einen wurde über die Flughafen Stuttgart GmbH, die als wichtiger Multiplikator für den Flugverkehr dient, eine Studie zur Untersuchung möglicher Strategien des Stuttgarter Flughafens zum Einsatz von SAF und die Einbettung des Flughafens in die Supply Chain durchgeführt. Es wurden auch weitere Aspekte analysiert: Eine Studie betrachtete die Möglichkeiten für Baden-Württemberg als Vorreiter unter der ReFuelsEU Aviation-Richtlinie zu agieren. Eine weitere Analyse befasste sich mit der Konzeptionierung für einen klimaneutralen Luftverkehr. Hierbei soll im Rahmen der „Allianz Neues Fliegen“ ein freiwillig höherer Einsatz von SAF mit einem Kommunikations- und Marketingkonzept und speziell über ein Industriebündnis, das einen freiwilligen verstärkten Einsatz von reFuels im Flugverkehr adressiert, unterstützt werden. Die Aktivitäten werden mit der Entwicklung von Szenarien zur Bedarfsentwicklungen an SAF und Wasserstoff für den gesamten Flugverkehr Baden-Württembergs abgerundet. Hier werden auch Handlungsempfehlungen für Infrastruktur, Logistik und mit SAF verbundene Geschäftsmodelle erarbeitet.

Projekte zur Umsetzung von Maßnahme M 6:

- Vorreiter unter ReFuelsEU Aviation – Was ist für Baden-Württemberg möglich? (d-fine)
- Entwicklung einer Konzeption für einen klimaneutraleren Luftverkehr (d-fine)
- Fliegen mit SAF und Wasserstoff – Bedarfsanalyse für SAF und Wasserstoff im Luftverkehr in Baden-Württemberg (d-fine)
- Rahmenbedingungen einer innovativen, industriellen Anlage zur Herstellung Sustainable Aviation Fuels (SAF) für den Einsatz am Flughafen Stuttgart (Teil der Durchführbarkeitsstudie PtL-Kerosin) (NACO)

M 7: Klimaneutralere Binnenschifffahrt – Modellvorhaben Bodensee

Der Fokus von Maßnahme M 7 der Roadmap reFuels liegt auf der Bodenseeschifffahrt. Für die Abschätzung des Kraftstoffeinsatzes, die im Rahmen von Maßnahme M 15 durchgeführt wurden, lagen jedoch lediglich Angaben für den (länderübergreifenden) Kraftstoffbedarf der Bodenseeschifffahrt vor, der baden-württembergische Anteil daran war hingegen unbekannt. Alternativ wurde daher auf Angaben des Statistischen Landesamts zur gesamten Binnenschifffahrt Baden-Württembergs zurückgegriffen. Die Binnenschifffahrt in Baden-Württemberg benötigt derzeit ca. 570 Tonnen Benzin und etwa 12.000 Tonnen Dieselmotorkraftstoff. Die europäische FuelEU Maritime Verordnung verpflichtet zukünftig Schiffe über 5.000 Bruttoregnetonnen, die europäische Häfen anlaufen, Quoten zur schrittweisen Beimischung für reFuels zu erfüllen. Die Binnenschifffahrt ist davon bislang nicht betroffen, daher wurden für den Hochlauf von reFuels in der Binnenschifffahrt Baden-Württembergs deshalb folgende Quoten auf freiwilliger Basis unterstellt: Von 5 % im Jahr 2025 über 25 % 2030 und 55 % 2035 bis hin zu 100 % 2040. Bis zum Jahr 2040 entsteht somit eine Nachfrage an Diesel in Höhe von 12.045 Tonnen und an Benzin in Höhe von 572 Tonnen.

Im Gegensatz zu anderen Maßnahmen zur Steigerung der Nachfrage nach reFuels erfolgen innerhalb von Maßnahme M 7 bereits sehr praxisnahe Aktivitäten. Besonders positiv hervorzuheben ist die Adressierung der privaten Bodenseeschifffahrt über das Pilotprojekt „Forschungsunterstützende Maßnahmen zur Vorbereitung des Treibhausgas-neutralen Bodensees durch den Einsatz von reFuels“. Ziel des durch das KIT wissenschaftlich begleiteten Projekts ist der verstärkte Einsatz von HVO100 und Nautic E10 an den drei



baden-württembergischen Bodenseetankstellen. Die durch den Kraftstoffeinsatz erzielten Treibhausgas-einsparungen werden mit einem „Digital Fuel Twin“ von Bosch quantifiziert und ausgewiesen. Das Projekt wird bereits zum jetzigen Zeitpunkt als Erfolg gewertet, da das öffentliche Interesse und das Interesse der Bootseigner anhaltend groß ist und zudem weiteres Interesse in Anrainergebieten zu möglichen Ausweitungen besteht.

Auf der konzeptionellen Seite werden derzeit mögliche Defossilisierungsoptionen des Bodensees untersucht. Des Weiteren wird analysiert, für welche Schiffe welche Antriebsoptionen zukünftig am geeignetsten sind.

Projekte zur Umsetzung von Maßnahme M 7:

- Forschungsunterstützende Maßnahmen zur Vorbereitung des Treibhausgas-neutralen Bodensees durch den Einsatz von reFuels (KIT, Bosch, Marinas)
- Dekarbonisierung der Schifffahrt auf dem Bodensee – woher kommt künftig die Energie für den Schiffsbetrieb? (H2Regio)

M 8: Klimaneutraler Zugverkehr

Maßnahme M 8 wird derzeit insbesondere im Rahmen des Monitoringvorhabens zur Roadmap reFuels betrachtet (Maßnahme M 15). Das Land Baden-Württemberg verfolgt eine umfassende Elektrifizierungsstrategie im Schienenverkehr, so dass davon auszugehen ist, dass reFuels im Zugverkehr langfristig nur einen relativ geringen Anteil des Energiebedarfs abdecken werden. Mögliche Bedarfe entstehen voraussichtlich im Bereich von Rangierloks und Reparaturloks sowie für Fahrzeuge, die aus Resilienzgründen auch zukünftig mit Diesel betrieben werden müssen.

Darüber hinaus fanden weitere Aktivitäten statt. Exemplarisch sind an dieser Stelle die Aktivitäten der DB Regio zum verstärkten Einsatz von HVO100 genannt⁵. Mehrkosten gegenüber dem Einsatz von konventionellen Kraftstoffen wurden dabei in den Jahren 2022 bis 2024 vom Land Baden-Württemberg übernommen⁶. Des Weiteren existiert bei der Deutschen Bahn eine Strategie zum verstärkten Einsatz Hybridantrieben, insbesondere für Instandhaltungsfahrzeuge.

M 9: Klimaneutrale Kraftstoffe als Beitrag für mehr Klimaneutralität in der Land- und Forstwirtschaft

In der Land- und Forstwirtschaft in Baden-Württemberg werden derzeit ca. 1.500 Tonnen Benzin und ca. 266.600 Tonnen Diesel im Jahr eingesetzt. Nach Einschätzung von Branchenexperten gibt es in der Land- und Forstwirtschaft nur relativ geringe Elektrifizierungspotenziale. Diese bestehen insbesondere im Wesentlichen in der Innenbewirtschaftung landwirtschaftlicher Betriebe. Für schwere Traktoren und Erntemaschinen sind aufgrund der anspruchsvollen Nutzungszyklen auch in Zukunft nur geringe Elektrifizierungspotenziale zu realisieren. Auch der Einsatz wasserstoffbetriebener Fahrzeuge erscheint aus heutiger

⁵ DB Regio: <https://www.dbregio.de/innovationen/alternative-antriebe-kraftstoffe/hvo-alternativer-kraftstoff>

⁶ Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg: <https://vm.baden-wuerttemberg.de/de/service/presse/pressemitteilung/pid/seit-jahres-wechsel-fahren-regionalzuege-zu-100-prozent-mit-oekostrom>



Sicht eher unwahrscheinlich, da insbesondere betriebseigene H₂-Tankstellen für forst- und landwirtschaftliche Betriebe nicht nur zu komplex, sondern vor allem zu kostenintensiv sein dürften. Aufgrund der langen Lebensdauern der Maschinen bzw. Fahrzeuge würde eine Marktdurchdringung alternativer Antriebe zudem nur sehr langsam erfolgen. Vor diesem Hintergrund stellen reFuels aus heutiger Sicht in vielen Anwendungsfällen die geeignetste Klimaschutzlösung für den Sektor bis 2040 dar. Ein weiterer Vorteil von reFuels ist, dass vorhandene Hoftankstellen weiter genutzt werden können.

Ausgehend vom heutigen Kraftstoffverbrauch und nach Einschätzung von Branchenexperten wurde ein Elektrifizierungspotenzial von 10 % bis 2040 angesetzt. Der Hochlauf von reFuels in der Land- und Forstwirtschaft in Baden-Württemberg resultiert in 73 t Benzin bzw. 12.997 t Diesel im Jahr 2025 und steigt kontinuierlich auf 1.344 Tonnen Benzin bzw. 239.942 Tonnen Diesel bis zum Jahr 2040 an. Neben der Luftfahrt wird sich somit die Land- und Forstwirtschaft als der größte Nachfrager nach reFuels entwickeln.

Im Bereich der Land- und Forstwirtschaft wurden erste grundlegende Aktivitäten begonnen. So wurden Optionen zur schnellen Einführung klimaneutral betriebener Landwirtschaftsfahrzeuge untersucht. Des Weiteren wurde ein Vergleich vorgenommen, welche unterschiedlichen Antriebsoptionen grundsätzlich für klimaneutrale schwere Landwirtschaftsfahrzeuge zur Verfügung aktuell und zukünftig zur Verfügung gestehen. Anhand der Kriterien Technologie, Klimaschutz, Rohstoffeinsatz, Marktreife sowie Wirtschaftlichkeit und Akzeptanz werden für die verschiedenen Einsatzbereiche die besten Lösungen diskutiert.

Zudem wird derzeit eine Studie zu Biomethan erstellt, dessen Potenzial vor allem für die Landwirtschaft sowie für ÖPNV und Schwerlastverkehr untersucht. Der Schwerpunkt liegt auf der Nutzung von Reststoffen wie Gülle und Stroh zur Produktion von Biomethan (Bio-CNG und Bio-LNG). Vor dem Hintergrund auslaufender EEG-Förderungen werden Umrüstungen, Clusterlösungen und Hoftankstellen als zentrale Optionen für den Weiterbetrieb von Biogasanlagen geprüft. Technisch ist Biomethan einsatzbereit, der flächendeckende Einsatz wird jedoch aktuell durch begrenzte Infrastruktur, hohe Investitionskosten und regulatorische Unsicherheiten eingeschränkt. Die laufende Studie zeigt das Potenzial von Biomethan zur Dekarbonisierung auf.

Für die Fortschreibung der Roadmap gilt es nun, gezielt alle relevanten Akteure noch stärker aktiv in die Maßnahmenumsetzung einzubeziehen und weitere Möglichkeiten des reFuels-Hochlaufs für die Land- und Forstwirtschaft auszuloten.

Projekte zur Umsetzung von Maßnahme M 9:

- Kurzstudie Biomethan (d-fine)
- Kurzstudie zur Analyse der Optionen für eine schnelle Einführung emissionsfreier bzw. CO₂-neutral betriebener Fahrzeuge in der Landwirtschaft in Baden-Württemberg (d-fine)
- Studie zum Technologievergleich unterschiedlicher Antriebsoptionen für treibhausgasneutrale schwere landwirtschaftliche Fahrzeuge (d-fine)



M 10: Klimaneutrale Landesverwaltung

Der Landesfuhrpark der Landesverwaltung verbraucht derzeit ca. 380 Tonnen Benzin und 710 Tonnen Diesel pro Jahr. Für die zukünftige Entwicklung des Fuhrparks wird angenommen, dass 2030 rund zwei Drittel der Fahrzeuge elektrisch angetrieben werden. Die verbleibenden Anteile werden insbesondere aus Gründen der Resilienz bzw. aufgrund der Anforderungen an Fahrzyklen und Einsatzzeiten auf flüssige Kraftstoffe (reFuels) angewiesen sein. Ab dem Jahr 2030 wird somit von einer Benzinnachfrage in Höhe von 126 Tonnen und von einer Dieselnachfrage in Höhe von 234 Tonnen ausgegangen.

Die Hauptaktivitäten zur Umsetzung von Maßnahme M 10 erfolgten zunächst über das Monitoring-Vorhaben zur Roadmap reFuels (Maßnahme M 15), indem die wesentlichen Kraftstoffbedarfe des Landesfuhrparks abgeschätzt wurden. Im Folgenden gilt es nun, die identifizierten Bedarfe und Anforderungen für das Land Baden-Württemberg in Zusammenarbeit der verschiedenen Ressorts zu analysieren und den reFuels-Einsatz in diesem Bereich weiter voranzutreiben. Eine wichtige Stellschraube sind die Ausschreibungen für die zu vertankenden Kraftstoffe. Es müssen dafür allerdings auch ausreichend Mittel aus dem Landeshaushalt bereitgestellt werden, um die Mehrkosten zu decken, solange klimafreundliche Kraftstoffe im Vergleich zur fossilen Alternative nicht stärker steuerlich begünstigt werden.

M 11: Klimaneutralere Landespolizei

Die Landespolizei Baden-Württemberg verbraucht derzeit rund 170 Tonnen Benzin, 5.810 Tonnen Diesel und 586 Tonnen Jet A-1 (Kerosin) pro Jahr. Für die straßengebundenen Fahrzeuganwendungen der Landespolizei wird in Anlehnung an die Analysen von Branchenexperten ein Elektrifizierungsanteil von 20 % bis 2025 und von 67 % ab 2030 angenommen. Daraus ergibt sich ab dem Jahr 2030 ein reFuels-Bedarf von 56 Tonnen Benzin, 1.917 Tonnen Diesel und 586 Tonnen Kerosin.

Zur Umsetzung von Maßnahme M 11 fanden mehrere Austauschrunden mit Vertreterinnen und Vertreter der Landespolizei statt, um die Potenziale und Einsatzmöglichkeiten alternativer Antriebe sowie von reFuels zu identifizieren. Eine Machbarkeitsstudie wurde erstellt, die sich mit dem Einsatz von synthetischem Kerosin für die Hubschrauberflotte der Landespolizei beschäftigt. Neben technischen Aspekten des Einsatzes von reFuels in den Hubschraubern wurden darin auch ökonomische und regulatorische Aspekte beleuchtet und Handlungsempfehlungen für die Umsetzung unterbreitet.

Darüber hinaus hat die Landespolizei im Herbst 2024 einen erfolgreichen Test zum Einsatz von HVO100 in ausgewählten Fahrzeugen bei zwei Polizeirevieren durchgeführt. Eine Fortführung oder Ausweitung des Einsatzes ist grundsätzlich möglich, setzt jedoch geeignete finanzielle Rahmenbedingungen voraus. Ein weiterer Aspekt war die Verfügbarkeit von HVO100 an Tankstellen im Land, die nicht flächendeckend rund um die Uhr gegeben ist, wie es der Betrieb der Polizei erfordert.

Projekte zur Umsetzung von Maßnahme M 11:

- Machbarkeitsstudie zum Einsatz und der Beschaffung von synthetischem Kerosin für die Hubschrauberflotte der Landespolizei, d-fine (d-fine)
- Pilotvorhaben zum Einsatz von HVO100 bei der Landespolizei



Erweiterte Maßnahmen der Nachfrageseite

Über viele weitere Aktivitäten hat sich gezeigt, dass die Roadmap reFuels für Baden-Württemberg kein statisches Dokument ist. Es wurden Aktivitäten durchgeführt oder befinden sich derzeit in der Umsetzung, die über die in der Roadmap genannten Maßnahmen weit hinaus gehen: Durch das Monitoring-Vorhaben zur Umsetzung der Roadmap konnten vertiefte **Analysen der Kraftstoffbedarfe** in den verschiedenen Maßnahmenfeldern, teilweise unter Einbeziehung verschiedener Akteure, durchgeführt werden. Dabei wurden auch zusätzliche Nachfragebereiche identifiziert, die in einer zukünftigen Fortschreibung der Roadmap berücksichtigt werden könnten.

Mit dem Projekt **BlendBilanz4Mobility** wird der Aufbau und die Inbetriebnahme einer variablen Blendanlage zur Herstellung bilanzierungsgerechter reFuels-Kraftstoffblends umgesetzt. Ziel des Projektes ist es, mit einer an die Tankanlage der Exolum Mannheim GmbH angeschlossenen Blendanlage die Lieferung zertifizierungsfester Mischkraftstoffe in Tankwagen-Größe bereitstellen zu können und die digitalen Voraussetzungen für ihren Einsatz in einer Nachhaltigkeitsbilanzierung zu schaffen. Damit können auch die Zielgruppen des Nachfragebereichs der Roadmap reFuels konkret adressiert werden. Diese europaweit einmalige Anlage stellt verhältnismäßig geringe Mengen bedarfsgerecht bereit und ist daher sehr flexibel, gleichzeitig steht sie aufgrund der Mengen nicht in Konkurrenz zur Raffinerie MiRO. Sie bietet kleineren regionalen Produzenten die Möglichkeit, ihre Kraftstoffe im Land bzw. in Deutschland zu blenden und nicht weit transportieren zu müssen.

Übersicht über die ergänzenden Projekte für die Nachfrageseite:

- Monitoring der Roadmap und Nachsteuern mit weiteren Maßnahmen (ZSW)
- Aufbau und Inbetriebnahme einer variablen Blendanlage zur Herstellung Bilanzierungs-gerechter reFuels-Kraftstoffblends - BlendBilanz4Mobility (Exolum, KIT, Bosch)



4.3. Maßnahmen im Bereich Forschung, Entwicklung und Technologiediffusion

Forschung, Entwicklung und Technologiediffusion sind zentrale Voraussetzung für den erfolgreichen Markthochlauf strombasierter und fortschrittlicher biogener Kraftstoffe. Insbesondere für Baden-Württemberg als Standort mit einem starken und innovativen Maschinen- und Anlagenbau sowie einem dichten Netzwerk an Forschungseinrichtungen ergeben sich ökonomische Potenziale. Das Land bietet somit beste Bedingungen, um reFuels-Technologien zu entwickeln, diese zur Marktreife zu bringen und anschließend auch in die industrielle Anwendung zu bringen und dadurch Wertschöpfungspotenziale für baden-württembergische Unternehmen realisieren helfen.

M 12: Initiierung einer Innovationsplattform (InnoFuels) zu reFuels

Seit Anfang 2023 wird das Verbundforschungsvorhaben InnoFuels als zentrale bundesweite Innovationsplattform zur Vernetzung und zum Wissensaustausch im Bereich strombasierter und fortschrittliche biogener Kraftstoffe mit einer Bundesförderung von 5,2 Mio. Euro umgesetzt. Das Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg hatte zusammen mit dem hessischen Wirtschaftsministerium maßgeblich bei der Antragstellung unterstützt. Ziel ist es, durch themenspezifische Zusammenarbeit von Forschungseinrichtungen, Unternehmen, Verbänden und öffentlichen Organisationen den Markthochlauf von erneuerbaren Kraftstoffen zu unterstützen. Die Arbeit erfolgt in sieben Innovationschwerpunkten: Produktion, Supply Chain, Anwendung Luftverkehr, Anwendung Schiffsverkehr, Anwendung Straßen- und Schienenverkehr, Nachhaltigkeit sowie Markt und Regulierung. Im Berichtszeitraum fanden zahlreiche Fachveranstaltungen und Workshops statt, z. B. zum Thema Nachhaltigkeitszertifizierung sowie zur Umsetzung der SAF-Quoten der EU. Darüber hinaus werden fachliche Publikationen erarbeitet. InnoFuels schafft damit auch eine fachliche Grundlage für die weitere Entwicklung entlang der reFuels-Wertschöpfungsketten für die Roadmap. Darüber hinaus trägt InnoFuels zur Vernetzung mit anderen Bundesländern bei und strebt aktuell einen internationalen Austausch an.

Projekte zur Umsetzung von Maßnahme M 12:

- Innovationsplattform InnoFuels (Koordination KIT, Ministerium für Verkehr im Begleitkreis)

M 13: Zulieferer für und Hersteller von reFuels-Anlagen stärken

Direct Air Capture (DAC) dürfte zukünftig eine bedeutende Rolle bei der Bereitstellung von CO₂ als Basisrohstoff für die Produktion von reFuels einnehmen oder im Rahmen der Bilanzierung nützlich sein. Zugleich bietet die Technologie für die baden-württembergische Industrie neue, zukunftsfähige Wertschöpfungspotenziale. Im Rahmen des Projekts „Direct Air Capture made in Baden-Württemberg“ wurde deshalb die Grundlage für die industrielle Entwicklung von DAC-Technologien in Baden-Württemberg gelegt. Ziel war es, CO₂ direkt aus der Atmosphäre abzuscheiden und als Rohstoff für die Produktion von synthetischen Kraftstoffen oder anderen Anwendungsbereichen bereitzustellen. Mit dem Projekt wurde ein Netzwerk von über 40 Firmen aufgebaut und über mehrere Workshops zusammengeführt. Zudem wurden die Marktpotenziale von CO₂ als Rohstoff identifiziert und die Wertschöpfungspotenziale von DAC für Baden-Württemberg ermittelt. Technisch konnte eine skalierbare Demonstrationsanlage mit einer Kapazität



von 100 Tonnen CO₂ pro Jahr in Betrieb genommen werden⁷. Das Projekt wurde gemeinsam vom Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg und vom Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Tourismus gefördert.

Projekte zur Umsetzung von Maßnahme M 13:

- Direct Air Capture made in Baden-Württemberg (ZSW)

M 14: Aus- und Weiterbildungskonzepte entwickeln

Ein erstes Element zur Umsetzung von Maßnahme M 14 stellen die Aktivitäten im Projekt „Direct Air Capture made in Baden-Württemberg“ dar. In dessen Rahmen wurde ein Industrienetzwerk aus 40 Firmen aufgebaut, das über Workshops und weitere Austauschformate zur Zukunftstechnologie DAC informiert und qualifiziert wurde (siehe auch Maßnahme M 13).

Für die weitergehende Umsetzung von Maßnahme M 14 sollten nun systematisch weitergehende Aus-, Fort- und Weiterbildungsansätze identifiziert und erarbeitet werden. Zugleich sollten relevante Informationen an die entsprechenden Akteure bereitgestellt werden. Ziel ist es, Fachkräfte und Unternehmen gezielt auf neue Technologien entlang der reFuels-Wertschöpfungskette vorzubereiten. Hierzu könnte auch der für 2026 geplante intensive Einstieg in den Industriedialog reFuels beitragen, der die verschiedenen Akteure miteinander weiter vernetzen soll.

⁷ ZSW (2024): <https://www.zsw-bw.de/presse/aktuelles/detailansicht/news/detail/News/zsw-treibt-industrialisierung-von-direct-air-capture-voran-deutschlandweit-groesste-dac-anlage-geht-i.html>



4.4. Maßnahmen zur Weiterentwicklung der Roadmap reFuels

M 15: Monitoring der Roadmap und Nachsteuern mit weiteren Maßnahmen

Die Umsetzung der Roadmap reFuels für Baden-Württemberg wird systematisch durch die Umsetzung von Maßnahme M15 begleitet. Ziel des Monitorings ist es, Fortschritte bei der Umsetzung der Maßnahmen kontinuierlich zu erfassen und frühzeitig Hemmnisse sowie neue Handlungsbedarfe zu identifizieren. Das Monitoring versteht sich dabei als lernendes System, das es ermöglicht, Maßnahmen bedarfsgerecht weiterzuentwickeln und den Transformationsprozess flexibel an neue Rahmenbedingungen anzupassen.

Im Rahmen von M15 wird durch das ZSW auch regelmäßig der internationale Projektfortschritt zur Erzeugung und Nutzung erneuerbarer Kraftstoffe (darunter Power-to-Liquid, Methanol, Ammoniak und Wasserstoff) analysiert und dokumentiert. Ergänzend erfolgt eine kontinuierliche Beobachtung der regulatorischen Rahmenbedingungen für reFuels auf EU- und Bundesebene. Diese Analysen dienen als Entscheidungsgrundlage für die Weiterentwicklung von Maßnahmen in Baden-Württemberg. Im Schwerpunkt begleitet das Monitoringvorhaben das Verkehrsministerium Baden-Württemberg bei der fachlichen Beratung für Aktivitäten zur Steigerung von Angebot und Nachfrage im reFuels-Bereich.

Mit dem vorliegenden Fortschrittsbericht wird ein zentrales Ergebnis von Maßnahme M 15 vorgelegt. Er bildet die Grundlage für die geplante Fortschreibung der Roadmap, bei der bestehende Maßnahmen aktualisiert, neue Handlungsfelder erschlossen und bestehende Strategien auf Landes-, Bundes- und EU-Ebene berücksichtigt werden.



5. Internationale Entwicklungen im Kontext reFuels

Teil der Umsetzung von Maßnahme M 15 der Roadmap reFuels für Baden-Württemberg „Monitoring der Roadmap und Nachsteuern mit weiteren Maßnahmen“ ist auch ein Screening von internationalen (Projekt-)Entwicklungen im Kontext von reFuels. Diese Analysen sind insbesondere für die Einschätzung des reFuels-Angebots im Zeitverlauf wichtig und bieten relevante Informationen für die Maßnahmen im Bereich der Angebots- und Nachfragesteigerung, wodurch eine präzisere Steuerung von Aktivitäten und damit eine genauere Nachsteuerung der Roadmap ermöglicht wird. Zudem bieten sie Informationen zum Stand der Entwicklung und Größe von Anlagen und lassen dadurch Schlüsse auf mögliche Exportchancen baden-württembergischer Unternehmen zu.

Um die internationalen Aktivitäten besser einordnen zu können, werden neben strombasierten reFuels-Projekten, d. h. Projekten im Bereich erneuerbarer Power-to-Liquid-Kraftstoffe (PtL) und Methanol, auch Projekte zur Herstellung von Ammoniak ausgewertet. Für einen vollständigen Überblick über internationale Aktivitäten wird das Monitoring durch eine Betrachtung des Markthochlaufs von grünem Wasserstoff abgerundet, da grüner Wasserstoff einen wichtigen Grundstoff für die Produktion von strombasierten reFuels darstellt.

Neben einer Darstellung des Umfangs von Projekten und Projektplanungen für grünen Wasserstoff und Wasserstoffderivaten werden die Kapazitäten nach Produktionsländern ausgewertet. Dies ermöglicht eine Steuerung internationaler Partnerschaften für den Bezug von reFuels bzw. für den Export von reFuels-Produktionsanlagen und -komponenten durch baden-württembergische Unternehmen. Wesentliche Datenquelle für das internationale Monitoring ist die Datenbank der Internationalen Energieagentur (IEA) „Hydrogen Production and Infrastructure Project Database“⁸.

⁸ IEA (2024): <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-product/hydrogen-production-and-infrastructure-projects-database>



5.1. Ankündigungen geplanter erneuerbarer PtL-Kraftstoffe

Die Angebotsseite für strombasierte Flüssigkraftstoffe zeigt einen deutlichen Anstieg der weltweiten angekündigten Produktionskapazitäten. Während für das Jahr 2025 kaum Kapazitäten verfügbar und angekündigt sind, wird insbesondere ab 2030 ein signifikanter Hochlauf an Projektankündigungen sichtbar, sowohl in der Konzept- als auch in der Machbarkeitsstudienphase. Laut Daten der Hydrogen Production and Infrastructure Project Database der IEA steigt die angekündigte Gesamtkapazität bis 2045 auf über 35 GW elektrischer Anschlussleistung. Die Ankündigungen bis zum Jahr 2030 belaufen sich noch auf 10 GW und bis 2040 auf knapp 30 GW.

Der Großteil dieser Kapazitäten befindet sich allerdings noch in einer sehr frühen Projektphase (Konzept- und Machbarkeitsphase). Dies bedeutet, dass zwar ein wachsendes Interesse an der Entwicklung von PtL-Projekten besteht, aber bislang noch kaum konkrete Investitionsentscheidungen getroffen wurden. Die Realisierung der Projekte ist daher mit erheblichen Unsicherheiten behaftet, was die Verfügbarkeit von PtL-Kraftstoffen in den kommenden Jahren (massiv) einschränken könnte.

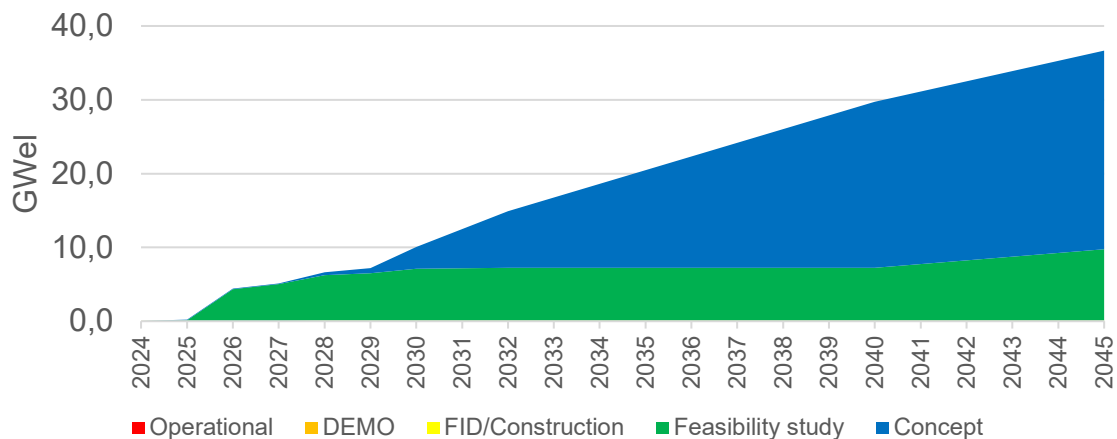


Abbildung 5: Hochlauf angekündigte erneuerbare PtL-Produktionskapazitäten. Eigene Darstellung basierend auf Daten der IEA⁹.

Ordnet man die internationalen PtL-Projektankündigungen ein, zeigt sich das Risiko einer Versorgungslücke bei Kraftstoffen deutlich: Im Jahr 2019 lag der Kerosinbedarf Deutschlands bei etwa 10 Mt. Diese Größe verdeutlicht den fossilen Verbrauch den es langfristig mit erneuerbaren Kraftstoffen zu ersetzen gilt. Im Vergleich dazu zeigen die Ankündigungen für weltweit geplante PtL-Projekte bis zum Jahr 2030 eine Produktionskapazität von lediglich etwa 2 Mt. Selbst mit den bis 2035 und 2040 angekündigten Projekten steigt die globale PtL-Produktion laut derzeitigen Prognosen nur auf etwa 4 Mt bzw. 6 Mt an. Dies bedeu-

⁹ IEA (2024): <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-product/hydrogen-production-and-infrastructure-projects-database>; Datenstand Oktober 2024



tet, dass selbst im internationalen Maßstab die bislang angekündigten globalen Projekte nur einen Bruchteil allein des deutschen Kerosinbedarfs decken könnten. Dies lässt Diskussionen um Neufahrzeuge, die ausschließlich e-fuels einsetzen, noch unrealistischer erscheinen.

Die angekündigten PtL-Projekte zur Erzeugung strombasierter Kraftstoffe verteilen sich weltweit auf verschiedene Länder. Erkennbar ist eine starke Konzentration auf wenige Länder, die entweder günstige Standortbedingungen wie Erneuerbare-Energien-Potenziale aufweisen oder bereits Erfahrungen mit Fischer-Tropsch oder Power-to-X Technologien haben. Die wichtigsten Länder und ihre angekündigten Kapazitäten sind in Abbildung 6 dargestellt. In Südafrika liegt mit 15 GW elektrischer Anschlussleistung das größte angekündigte Projektpotenzial. Das Land positioniert sich damit weiter als globaler Vorreiter im Bereich Fischer-Tropsch und synthetischer Kraftstoffe. Weitere wichtige potenzielle Produktionsländer sind zudem Norwegen mit 5,3 GW an geplanten Kapazitäten und Finnland mit 3,3 GW Gesamtkapazität bis 2045.

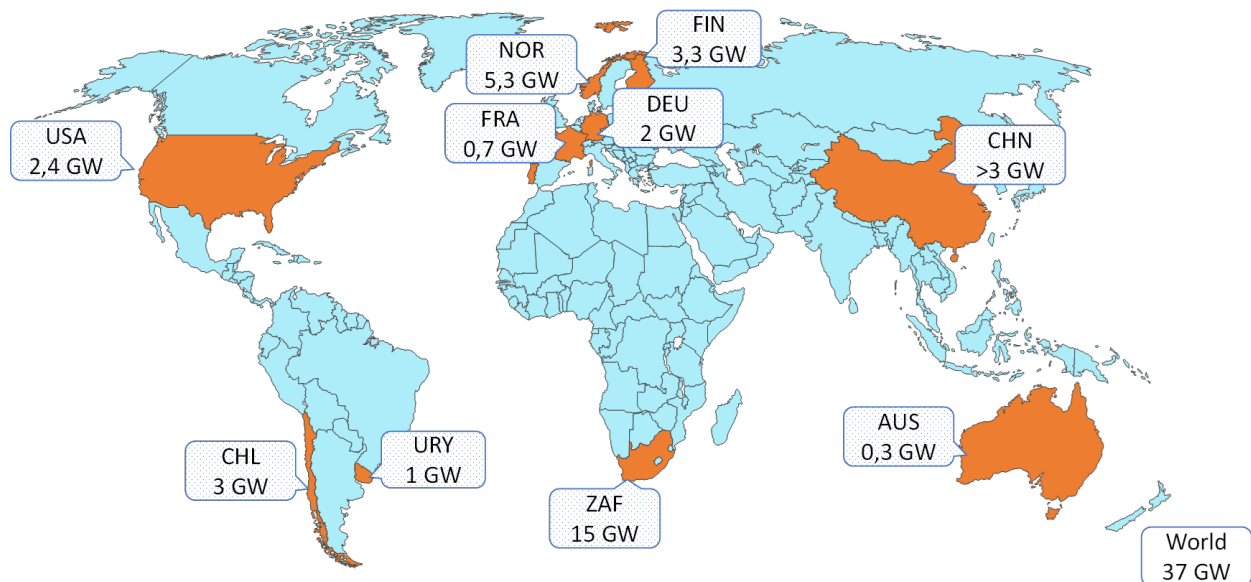


Abbildung 6: Verteilung der angekündigten Produktionskapazitäten von PtL-Kraftstoffen im Jahr 2045. Darstellung basierend auf Daten der IEA.



5.2. Ankündigungen geplanter erneuerbarer Methanol-Projekte

Methanol gilt als vielseitiger Grundstoff in der chemischen Industrie, insbesondere für die Herstellung von Olefinen. Des Weiteren kann Methanol direkt als Kraftstoff verwendet werden oder über das Methanol-to-Jet Fuel-Verfahren (MtJ) zu Kerosin und über das Methanol-to-Gasoline-Verfahren (MtG) zu Benzin verarbeitet werden. In den vergangenen Jahren hat sich die Zahl der bis 2030 angekündigten Projekte zur Produktion von erneuerbarem Methanol deutlich erhöht. Zwar sind derzeit nach wie vor kaum Anlagen in Betrieb, jedoch zeigen die Projektankündigungen eine wachsende Dynamik. Auch die Anzahl finaler Investitionsentscheidungen ist in den vergangenen Jahren gestiegen, was auf eine zunehmende konkrete Projektumsetzung hindeutet.

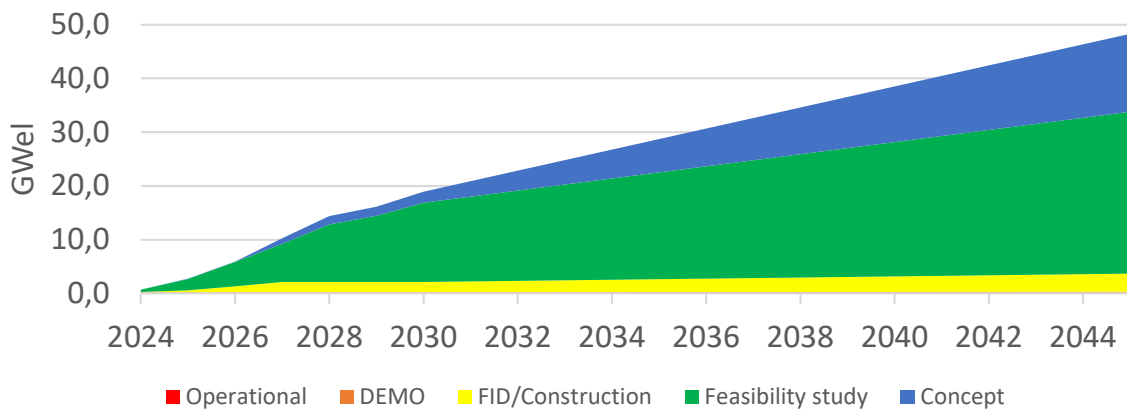


Abbildung 7: Hochlauf der angekündigten Produktionskapazitäten für erneuerbares Methanol. Darstellung basierend auf Daten der IEA.

Bis 2030 sind zum aktuellen Zeitpunkt weltweit Methanol-Projekte mit einer elektrischen Anschlussleistung von knapp 20 GW angekündigt. Bis zum Jahr 2045 könnten über 45 GW an Produktionsleistung entstehen. Diese Leistung würde einer globalen Produktionskapazität von rund 20 Mt erneuerbarem Methanol entsprechen. Die angekündigten Projekte deuten somit auf ein wachsendes Interesse an erneuerbaren Methanolherstellungsverfahren hin. Zum Vergleich: Die weltweite fossile Methanolproduktion lag im Jahr 2021 bei etwa 107 Mt¹⁰. Die bis 2045 geplanten Anlagen zur Herstellung von erneuerbarem Methanol würden mit den rund 20 Mt Produktionskapazität nur knapp 20 % der heutigen Methanolproduktion erreichen. Zudem ist von einer weltweit weiter steigenden Nachfrage nach Methanol auszugehen, getrieben durch den wachsenden Einsatz in der Chemieindustrie sowie und der internationalen Seeschifffahrt. Nach einer Publikation der dena¹¹ könnte bei einer vollständigen Umstellung der heutigen Methanolproduktion auf erneuerbare Verfahren der Bedarf in Deutschland bis 2045 auf rund 24 Mt steigen, was etwa 150 TWh Wasserstoff pro Jahr entspricht. Derzeit verbraucht die chemische Industrie in Deutschland etwa 1,1 Mt

¹⁰ Methanol-Institut: <https://www.methanol.org/methanol-price-supply-demand/>

¹¹ Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena): <https://www.dena.de/infocenter/erneuerbares-methanol/>



Methanol, größtenteils fossilen Ursprungs. Die Raffinerie Mitteldeutschland in Leuna produziert derzeit rund 700.000 t¹² Methanol auf Basis fossiler Rohstoffe und ist damit der größte Produzent in Europa.

Damit wird deutlich, dass der vollständige Ersatz fossilen Methanols durch erneuerbare Quellen eine große Herausforderung darstellt, die einen massiven Ausbau der globalen Erzeugungskapazitäten sowie erhebliche Investitionen in erneuerbare Energien und Erschließung von biogenem CO₂ erfordert.

Abbildung 8 zeigt die Verteilung der angekündigten Methanol-Projektkapazitäten auf die verschiedenen geplanten Standorte. Ein Großteil der weltweit angekündigten Projekte entfällt mit rund 28 GW geplanter elektrischer Anschlussleistung bis 2045 auf China. Dahinter folgt Spanien mit etwa 4,3 GW, Dänemark mit rund 3,2 GW und die USA mit etwa 1,5 GW. Die angekündigten Produktionskapazitäten beschränken sich somit auch für Methanol im Wesentlichen auf wenige Produktionsländer. Die Projekte, die aktuell in der finalen Investitionsentscheidung oder in Bau sind verteilen sich mit 3.000 MW auf China, 200 MW in Dänemark, 110 MW in Norwegen und 90 MW in Spanien.

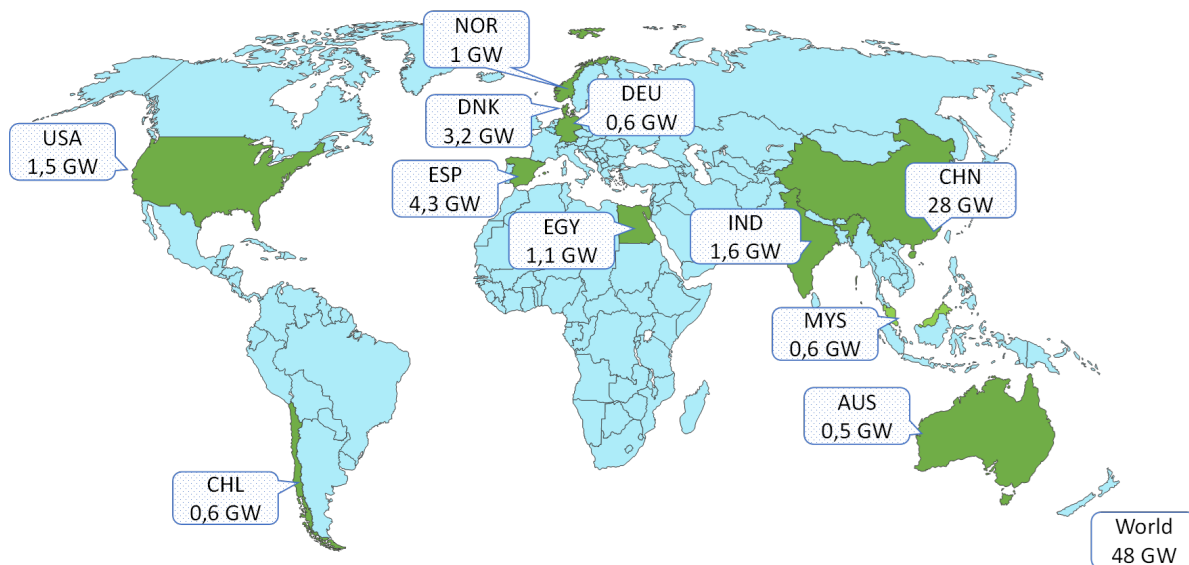


Abbildung 8: Verteilung der angekündigten Produktionskapazitäten von Methanol im Jahr 2045. Darstellung basierend auf Daten der IEA.

¹² TotalEnergies: <https://totalenergies.de/totalenergies-sunfire-und-fraunhofer-geben-den-startschuss-fuer-gruenes-methanol-leuna>

5.3. Ankündigungen geplanter erneuerbarer Wasserstoff-Projekte

Wasserstoff auf Basis erneuerbaren Stroms und Elektrolyse gilt als zentraler Baustein der Energiewende. Wasserstoff gilt als vielfältiger Energieträger und auch als Rohstoff für reFuels oder auch Methanol. Im Vergleich zu den anderen erneuerbaren Energieträgern zeigt sich bei den reinen Wasserstoffprojekten eine besonders hohe Dynamik auf der Angebotsseite.

Derzeit sind weltweit über 1.100 MW Elektrolyseleistung installiert, davon befinden sich rund 580 MW in China, über 120 MW in Deutschland und rund 110 MW in den USA. Weitere 8 GW befinden sich bereits in der Bauphase oder haben eine finale Investitionsentscheidung erhalten. Noch deutlich größer sind die zukünftigen globalen Ankündigungen. Bis 2030 beläuft sich die angekündigte Elektrolysekapazität weltweit auf mehr als 250 GW. Bis 2040 könnten es fast 350 GW sein und bis 2045 sind über 400 GW an Projekten angekündigt. Bei einer globalen Produktionskapazität von 350 GW Elektrolyseleistung könnten etwa 40 Mt Wasserstoff jährlich erzeugt werden. Zum Vergleich: Im Jahr 2019 wurden global 69 Mt Wasserstoff mittels Dampfreformierung (SMR) aus Erdgas, also fossil, erzeugt. Zusätzlich entstanden 48 Mt Wasserstoff als Nebenprodukt bei chemischen Prozessen, z. B. in Raffinerien¹³, welche im Rahmen der angestrebten Transformation nicht mehr in diesem Maße zur Verfügung stehen werden. Es kann insgesamt festgehalten werden, dass im Vergleich zu PtL und Methanol eine deutlich stärkere Marktdynamik beobachtbar ist.

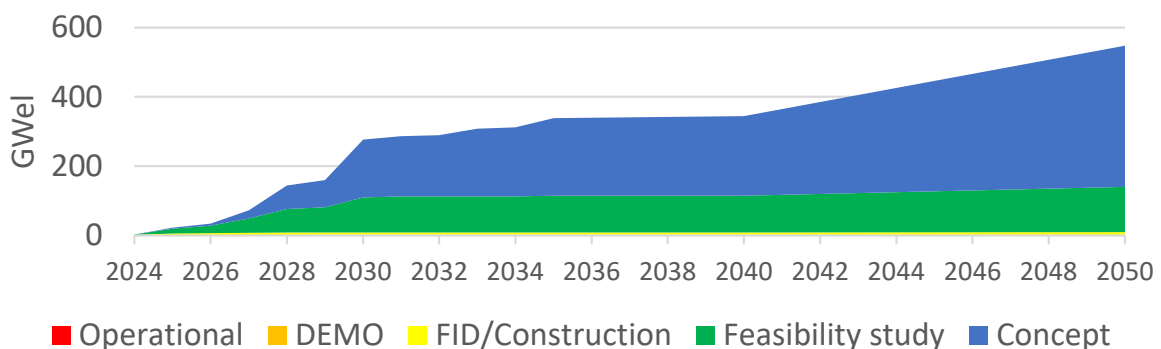


Abbildung 9: Hochlauf der angekündigten erneuerbaren Produktionskapazitäten für Wasserstoff. Eigene Darstellung basierend auf Daten der IEA.

Abbildung 10 zeigt die regionale Verteilung der angekündigten Wasserstoffprojekte bis 2050. Insgesamt wird eine deutlich breitere Verteilung der angekündigten Projekte auf Produktionsländer deutlich. Der größte Anteil an Projektankündigungen entfällt dabei auf die Europäische Union mit etwa 120 GW. Dahinter folgen Länder die vor allem durch günstige Standortbedingungen für erneuerbare Energien auffallen. Mauretanien etwa plant mit einer Gesamtleistung von 69 GW. Auch Australien (47 GW), Chile (32 GW),

¹³ Hebling et al. (2019): Eine Wasserstoff-Roadmap für Deutschland. Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung und Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme. Karlsruhe und Freiburg, Oktober 2019. https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/2019-10_Fraunhofer_Wasserstoff-Roadmap_fuer_Deutschland.pdf



Indien (30 GW), Brasilien (18 GW) und Argentinien (16 GW) gehören zu den Ländern mit großen Ambitionen. Die USA verzeichnen bislang rund 45 GW an Ankündigungen und China etwa 22 GW.

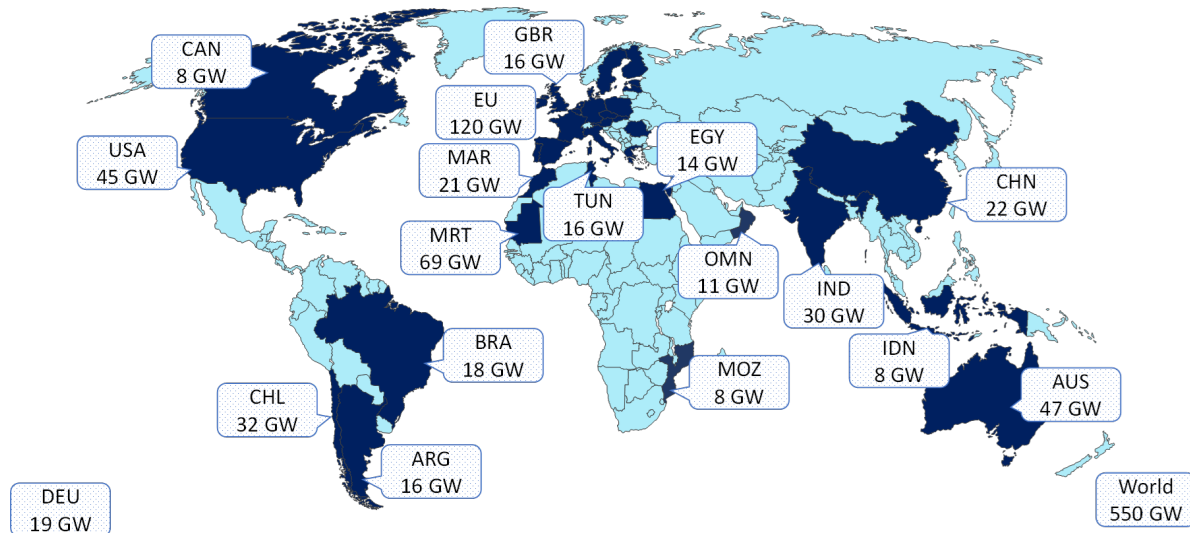


Abbildung 10: Verteilung der angekündigten Produktionskapazitäten von Wasserstoff im Jahr 2050. Darstellung basierend auf Daten der IEA.

5.4. Ankündigungen geplanter erneuerbarer Ammoniak-Projekte

Analog zur Dynamik im Bereich reiner Wasserstoffprojekte lässt sich auch bei erneuerbarem Ammoniak eine deutliche Zunahme an Projektankündigungen auf sehr hohem Niveau feststellen. Aktuell befinden sich weltweit aber nur wenige erneuerbar betriebene großtechnische Anlagen in Betrieb. Diese verfügen kumuliert über eine elektrische Anschlussleistung von etwa 100 MW. Dennoch deuten die globalen Projektankündigungen auf eine potenzielle rasche Skalierung hin. Projekte mit finaler Investitionsentscheidung und Projekte im Bau summieren sich auf bis zu 6 GW elektrischer Anschlussleistung. Nach Auswertung der Hydrogen Project Database sind auch ambitionierte Ausbaupläne mit 190 GW elektrischer Anschlussleistung im Jahr 2030 angekündigt. Die Ankündigungen steigen auf etwa 250 GW bis 2040 und übersteigen 350 GW bis 2050. Bei einer Umrechnung der 250 GW globaler elektrischer Anschlussleistung auf die resultierende Ammoniakproduktion ergibt sich eine potenzielle Produktionskapazität von knapp 160 Mt grünem Ammoniak im Jahr 2040. Zum Vergleich: Die globale Ammoniakproduktion lag im Jahr 2023 bei 152 Mt¹⁴. Diese Produktion basiert nahezu vollständig auf fossilen Ausgangsstoffen, insbesondere Erdgas.

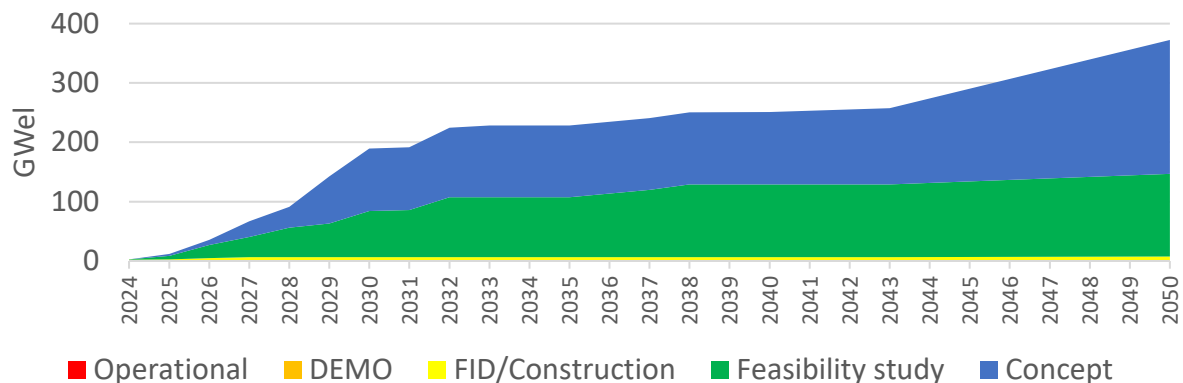


Abbildung 11: Hochlauf der erneuerbaren Produktionskapazitäten für Ammoniak. Eigene Darstellung basierend auf Daten der IEA (2024)

Bis zum Jahr 2050 belaufen sich die kumulierten Ankündigungen auf 370 GW elektrischer Anschlussleistung weltweit. Einige Länder ragen dabei mit zweistelligen Ankündigungen deutlich heraus: Die meisten Ankündigungen erneuerbarer Ammoniak-Projekte finden sich in Australien (62 GW), gefolgt von Ägypten (43 GW), Brasilien (39 GW) und Chile (35 GW). Zudem sind in Indien (26 GW), Mauretanien (25 GW), Oman (22 GW) und Kasachstan (20 GW) eine beachtliche Menge an Projekten sowie an elektrischer Anschlussleistung angekündigt. Weitere Länder und deren Ankündigungen sind in Abbildung 12 einzusehen.

¹⁴ US Geological Survey (2025): Production of ammonia worldwide from 2010 to 2024: <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2025/mcs2025.pdf>

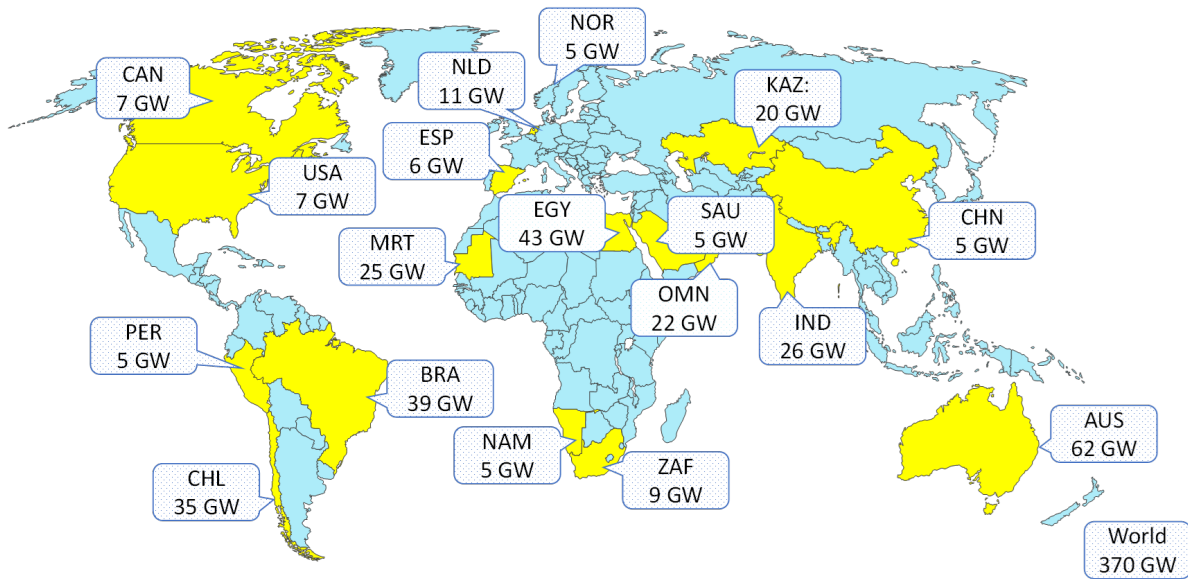


Abbildung 12: Verteilung der angekündigten Produktionskapazitäten von Ammoniak im Jahr 2050.



6. Fazit und Ausblick

Mit der Veröffentlichung der Roadmap reFuels im Jahr 2022 bekannte sich Baden-Württemberg als erstes Bundesland für einen verstärkten Einsatz strombasierter Kraftstoffe und fortschrittlicher Biokraftstoffe (reFuels). Diese Kraftstoffe sollen insbesondere dort eingesetzt werden, wo ein Umstieg auf batterieelektrische und wasserstoffbasierte Antriebsarten nicht oder nur sehr schwer möglich ist. Neben der Adressierung regulatorischer Anforderungen und Anpassungen für einen beschleunigten Markthochlauf von reFuels, sind in der Roadmap vielfältige Maßnahmen hinterlegt, mit denen das Angebot und die Nachfrage an reFuels sukzessive gesteigert werden sollen. Auch Maßnahmen zu Forschung, Entwicklung und Technologiediffusion sind genannt, wodurch der Wirtschafts- und Forschungsstandort Baden-Württemberg gestärkt werden soll.

Die kontinuierliche Beobachtung internationaler Entwicklungen zur Produktion von reFuels zeigt, dass weltweit ein wachsendes Interesse an Wasserstoff und Wasserstoff-Derivaten, zu denen auch PtL-Kraftstoffe zählen, besteht. Allerdings befinden sich insbesondere Projekte für strombasierte Kraftstoffe und Methanol derzeit noch überwiegend in einer frühen Planungsphase. Zudem reichen die bislang angekündigten PtL-Produktionsmengen bei weitem nicht aus, um den zukünftigen Bedarf, allein im Luftverkehr zu decken. Daher ist auch zukünftig eine kontinuierliche Beobachtung internationaler Entwicklungen wichtig, um Maßnahmen zur Angebots- und Nachfrageförderung gezielt weiterzuentwickeln und darauf basierend Importe anzustoßen.

Die aktuell gültigen regulatorischen europäischen Rahmenbedingungen haben einen großen Anteil am zögerlichen Markthochlauf von PtL-Kraftstoffen. Zwar ist seit Mai 2024 der Einsatz von HVO100 auch in Deutschland uneingeschränkt möglich, womit die Möglichkeit einer kurzfristigen Nutzung von reFuels und damit kurzfristig realisierbare Treibhausgasreduzierungsziele ermöglicht wurde. Für die Produktion und den Einsatz von strombasierten Kraftstoffen bestehen jedoch nach wie vor große Hürden, die zu fehlenden Geschäftsmodellen für die möglichen Produzenten führen, insbesondere aufgrund der Vorgaben der Delegierten Rechtsakte zu Art. 27 und Art. 28 der RED II zu Wasserstoff und zur Berechnung der THG-Minderung. Trotz wiederholter Stellungnahmen und Kritik seitens des Landes hat sich auf EU-Ebene bislang daran nichts geändert. Daher hat das Land den Aktionsplan reFuels entwickelt. Dieser soll die EU zu zeitnahen Anpassungen des Rechtsrahmens bewegen, um den Markthochlauf strombasierter Kraftstoffe zu ermöglichen und beschleunigen. Praxisgerechte Übergangsregeln bei Grünstromkriterien, die Nutzung unvermeidbarer industrieller CO₂-Quellen auch über das Jahr 2040 hinaus sowie klare Import- und Nachweisregeln sollen Investitionen in Großanlagen wirtschaftlicher machen und einen funktionierenden europäischen reFuels-Markt schaffen.

Obwohl die internationalen Entwicklungen zur Steigerung des Angebots an und der Nachfrage nach reFuels hinter den in der Roadmap hinterlegten Plänen zurückbleiben, hat das Land Baden-Württemberg seine Einflussmöglichkeiten konsequent genutzt und zahlreiche Fortschritte bei der Umsetzung der Roadmap erzielt. Zur Stärkung der Angebotsseite wurden in Baden-Württemberg zahlreiche vorbereitende Studien und Projekte initiiert, die technische, wirtschaftliche und regulatorische Grundlagen für den Aufbau



von reFuels-Produktionskapazitäten schaffen. Auch wenn es trotz dieser Fortschritte bislang nicht gelungen ist, die angestrebte Demonstrationsanlage zur Produktion strombasierter Kraftstoffe oder eine Skalierung der Produktionstechnologie in den 500.000 Tonnen-Maßstab zu initiieren, leisten die angestoßenen Maßnahmen einen wichtigen Beitrag zur Weiterentwicklung zentraler Technologien, zur Vorbereitung notwendiger Infrastruktur für Produktion und Transport sowie zum Aufbau internationaler Energiepartnerschaften für den Import von reFuels. Die Vielzahl der vorhandenen Studien und insbesondere die technischen Anlagenkonzeptionen bietet eine ideale Grundlage für einen zeitnahen Förderantrag für eine industrielle Produktionsanlage sofern es entsprechende Fördermöglichkeiten auf Bundes- oder EU-Ebene gibt.

Im Bereich der Steigerung der Nachfrage nach reFuels wurden vor allem durch vorbereitende Studien und Analysen wichtige Fortschritte erzielt. Insbesondere konnten die Einsatzbereiche und der zukünftige Kraftstoffbedarf für reFuels besser identifiziert und konkretisiert werden. Zugleich wurden die für den beschleunigten Einsatz von reFuels erforderlichen Rahmenbedingungen für die verschiedenen Verkehrsbereiche analysiert. Ein besonderes Beispiel für eine erfolgreiche infrastrukturelle Umsetzung einer Maßnahme wurde mit dem Pilotprojekt „Forschungsunterstützende Maßnahmen zur Vorbereitung des Treibhausgas-neutralen Bodensees durch den Einsatz von reFuels“ (KIT, Bosch, Marinas) erreicht. Durch den Einsatz von HVO100 und Nautic E10 wird im Jahr des Vorsitzes von Baden-Württemberg der Internationalen Bodenseekonferenz (IBK) ein beispielgebender praxisnaher Einsatz für den reFuels-Hochlauf realisiert und zugleich ein Signal für eine überregionale Zusammenarbeit erzeugt. Das Konzept hat das Potenzial für eine Ausweitung auf die Freizeit- und Sportschifffahrt auf Binnengewässern.

Mit dem vorliegenden Fortschrittsbericht liegt eine erste Zwischenbilanz der Umsetzung der Roadmap reFuels für Baden-Württemberg vor. Die bislang angestoßenen Maßnahmen haben eine wichtige Grundlage geschaffen, um reFuels langfristig als wichtigen und ergänzenden Baustein einer klimaneutralen Mobilität im Land zu verankern. Die Erkenntnisse aus den in Auftrag gegebenen Studien und Analysen zeigen sowohl das grundsätzliche Potenzial in den einzelnen Bereichen als auch die Komplexität und Herausforderungen des tatsächlichen Markthochlaufs. Für die Fortschreibung der Roadmap gilt es nun, in eine neue Phase einzutreten: Von der konzeptionellen Ebene ist verstärkt der physische Einsatz von reFuels in den einzelnen Maßnahmenbereichen anzureizen und zu begleiten.

Dies erfordert eine stärkere und verbindlichere Einbindung weiterer Landesressorts in die konkrete Maßnahmenumsetzung. Eine ressortübergreifendere Koordination ermöglicht es, Zielkonflikte aktiv zu adressieren und zu bearbeiten. So stehen die Klimaschutzzielsetzungen der verschiedenen Ressorts, die auch in die Roadmap eingeflossen sind, oftmals im Konflikt mit knappen Finanzmitteln der Ressorts. Der Einsatz von reFuels, eine geeignete Verfügbarkeit vorausgesetzt, unterbleibt trotz dieser Klimaschutzziele, weil nicht klar geregelt ist wie die Mehrkosten gegenüber fossilen Kraftstoffen finanziert werden können. Des Weiteren ist u. a. in folgenden Bereichen eine engere Zusammenarbeit erforderlich: EU-Regulatorik, Länderkooperationen, Koordination von Abnahmemengen. Dies wird mit dem geplanten Industriedialog reFuels angestrebt. Darüber hinaus sind je nach Nutzungsbereich geeignete Anreizmechanismen für einen verstärkten Einsatz von reFuels zu identifizieren und in die Anwendung zu bringen.



Die Fortschreibung der Roadmap bietet zudem die Möglichkeit, weitere im Rahmen des Roadmap-Monitorings identifizierte Nachfragebereiche zu integrieren. So zeigen sich umfassende reFuels-Potenziale im Bereich der Baumaschinen, die nicht oder nur schwer elektrifizierbar sind. Auch kommunale Sonderfahrzeuge sowie Fahrzeuge von Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (sog. BOS-Fahrzeuge), die aufgrund anspruchsvoller Einsatzprofile aber auch aus Gründen der Resilienz weiterhin auf flüssige Kraftstoffe angewiesen sein werden, sollten in die Roadmap aufgenommen werden.

Die Rolle von reFuels als Bestandteil einer resilienteren Energieversorgung – insbesondere zur Sicherstellung der Versorgung mit Kraftstoffen, aber auch der Versorgung mit chemischen Grundstoffen im Krisen- oder Katastrophenfall – sollte nicht zuletzt wegen der deutlich besseren Lagerfähigkeit von reFuels stärker mitbetrachtet werden. Exemplarisch sei an dieser Stelle die kürzlich angekündigte Energiepartnerschaft zwischen Rheinmetall und Ineratec genannt, die zeigt, dass eine Zusammenarbeit von industriellem Anwender und Technologieentwickler den Hochlauf von synthetischen Kraftstoffen stärken kann. Solche Initiativen könnten wichtige Ankerpunkte für den Aufbau von regionalen Produktionskapazitäten im Land darstellen und sollten bei der Weiterentwicklung der Roadmap berücksichtigt werden.

Neben dem Aufbau von Produktionskapazitäten für strombasierte Kraftstoffe sollte auf der Angebotsseite zumindest kurzfristig weiterhin der Einsatz von fortschrittlichen Biokraftstoffen wie HVO100 praktiziert werden. Diese Kraftstoffe stehen im Gegensatz zu strombasierten Kraftstoffen bereits zur Verfügung und sind zudem weit kostengünstiger. Dadurch können sie dabei helfen, kurzfristige CO₂-Einsparpotenziale zu realisieren und einen beschleunigten und kostengünstigeren Einstieg in die reFuels-Nutzung zu ermöglichen. Aufgrund ihrer chemischen Beschaffenheit steht einem späteren Wechsel auf strombasierte Kraftstoffe nichts entgegen. Dabei gilt es weiterhin kritische Aspekte wie Herkunft und Nachhaltigkeit von Biokraftstoffen zu berücksichtigen und transparent zu kommunizieren.



Anhang – Überblick über die im Rahmen der Umsetzung der Roadmap reFuels initiierten Projekte

Konzeptplanung für eine Demonstrationsanlage zur Erzeugung erneuerbarer Kraftstoffe auf Methanolbasis bei der MiRO

Projektleitung: KIT

Beitrag zu Maßnahme M 1

Mit dieser Konzeptplanung durch den Unterauftragnehmer Chemieanlagenbau Chemnitz GmbH (CAC) wurde eine weitere Technologieoption zur Produktion von reFuels auf Methanolbasis für eine potenzielle Demonstrationsanlage untersucht.

SAF@STR – Studie für eine Technologieentscheidung für eine Produktionsanlage für SAF für den Flughafen Stuttgart (PtL oder AtJ)

Koordination: Flughafen Stuttgart

Beitrag zu Maßnahme M 1

Mit dieser Studie, erstellt durch SkyNRG Netherlands, wurden mögliche Technologien und verfügbare Rohstoffe für eine Produktionsanlage für Sustainable Aviation Fuels (SAF) für den Flughafen Stuttgart in Baden-Württemberg untersucht und verglichen. Zuletzt lag der Fokus auf den Produktionspfaden: Power-to-Liquid oder Alcohol-to-Jet.

Vorbereitung einer Produktionsinfrastruktur für e-Kerosin und Koppelprodukte für Verarbeitung, Produktion, Qualitätssicherung und Logistik am Beispiel der MiRO

Projektleitung: KIT

Beitrag zu Maßnahme M 1, erweiterte Maßnahmen der Angebotsseite

Hintergrund des Vorhabens ist die erwartete Verlagerung von Nachfragemengen und nachgefragten Produkte bei den Raffinerien in Richtung klimaneutraler Kraftstoffe in den nächsten Jahren. Eine Möglichkeit zur langfristigen Standortsicherung und schrittweisen Transformation ist die Verschiebung des Anlagenverbundes und Produktportfolios hin zu Produkten, die aus technischer Sicht langfristig nur schwer zu ersetzen sind, wie z. B. die Herstellung von e-Kerosin für die Luftfahrt, e-Olefinen für die chemische Industrie und paraffinischem e-Diesel für Anwendungen beispielsweise im Luft- und Schiffsverkehr. Neben der Weiterentwicklung des Produktionsverbundes ist auch die Produkt-Logistik (incl. einer Blending- bzw. Beimischungs-Strategie) für eine Realisierung zu betrachten. Bei konkreter Umsetzung bietet sich die Chance, wichtige Arbeitsplätze bei der Mineralölraffinerie Karlsruhe zu erhalten, die sonst bei sinkenden Produktabsätzen abgebaut werden müssten. Wertschöpfung und Energieversorgung durch die Raffinerie bleiben erhalten und zukunftsfähig gesichert.



Regulatorischer Rahmen und Business Modelle für reFuels

Projektleitung: Frontier Economics

Beitrag zu Maßnahme M 1, M 2, erweiterte Maßnahmen der Angebotsseite

Im Rahmen dieser Studie wurde untersucht, welche regulatorischen Rahmenbedingungen günstig die Entwicklung von Geschäftsmodellen für reFuels sind. Diese Rahmenbedingungen können den Markthochlauf von reFuels deutlich begünstigen, aber auch wiederum sehr stark hemmen. Regelungen sollten deshalb so ausgestaltet werden, dass für Investoren bzw. Marktteilnehmer ein stabiles Investitionsklima geschaffen wird. In der Phase des Markthochlaufs sollten Produkte nicht noch über Regelungen zusätzlich verteuert werden. Zudem sollten Erlösmöglichkeiten für die „grüne“ Eigenschaft von reFuels geschaffen werden. Möglich werden könnte dies über ambitionierte Quoten, Differenzierung bei der Besteuerung von fossilen Kraftstoffen und reFuels sowie eine Ausweitung der Bepreisung der Emissionen auf Verkehr und Wärme auch auf europäischer Ebene.

e-Fuels fürs Länd

Projektleitung: Fraunhofer ISE

Beitrag zu Maßnahme M 1

Das Hauptziel des „e-Fuels fürs Länd“-Projekts ist es, drei Szenarien zur Herstellung von e-Fuels im Rahmen einer Machbarkeitsstudie vor dem Hintergrund maximaler Wertschöpfung in Baden-Württemberg detailliert zu untersuchen. Dabei wird die gesamte Power-to-X-Wertschöpfungskette betrachtet und es werden vergleichende techno-ökonomische (TEA) sowie Life-Cycle-Analysen (LCA) durchgeführt. Zentrales Zwischenprodukt ist Dimethylether (DME), das verglichen mit Methanol ungiftig ist, eine hohe Energiedichte und ein großes Potenzial zur Herstellung von Kraftstoffen sowie Produkten für die chemische Industrie aufweist. Darüber hinaus werden Produktionskonzepte für passende Standorte einer Pilotanlage untersucht und sowohl techno-ökonomisch als auch ökologisch bewertet.

Forschungsunterstützte Maßnahmen zur Transformation von Anlagen für klimaneutrale Kraftstoffe (reFuels) in den industriellen Maßstab (reFuels DEMO)

Projektleitung: KIT

Beitrag zu Maßnahme M 1, M 2

Mit dieser Studie wird das Ziel verfolgt, wissenschaftliche Grundlagen für den industriellen Einsatz variabler Syntheseeinrichtungen auf Basis von Methanol zu schaffen. Aufbauend auf einer Methanol-to-Gasoline-Anlage (MtG) soll ein schrittweises Konzept erprobt werden, das zunächst synthetische Benzinprodukte liefert und später durch Umrüstung zu Methanol-to-Olefin- (MtO) und Anschluss einer Olefin-to-Jet- (OtJ) Anlage die Produktion von nachhaltigem Kerosin ermöglicht. Die dem Projekt zugrundeliegende These ist, dass die zeitversetzten Investitionen in Kombination mit vorgezogenen Lieferungen von Benzinprodukten einen geeigneten Business Case ermöglichen könnten. Durch techno-ökonomische Analysen, Umweltbi-



lanzen und Praxistests werden Investitions- und Betriebskosten, Stoffströme sowie Treibhausgasemissionen bewertet. Ziel ist es, die Transformation fossiler Raffinerien wie der Mineralöelraffinerie Oberrhein (MiRO) in Karlsruhe in Raffinerien auf erneuerbarer Basis vorzubereiten.

Assessment of European biogenic CO₂ balance for SAF production (Teil der Durchführbarkeitsstudie PtL-Kerosin)

Projektleitung: ERM Worldwide Group Limited (ERM – Environmental Resources Management)

Beitrag zu Maßnahme M 1, M 2, M 3

In der Studie wird untersucht, ob und in welchem Umfang der zukünftige CO₂-Bedarf in Europa für die PtL-Produktion und weitere Industriezweige durch biogene CO₂-Quellen abgedeckt werden kann. Neben der Angebotsseite an biogenem CO₂ wird insbesondere die Nachfrage an CO₂ im Zeitverlauf analysiert. Hierfür werden auch die Auswirkungen regulatorischer Rahmenbedingungen beleuchtet. Die Studie kommt zu dem Ergebnis, dass bereits ab 2040 ein Nachfrageüberschuss an CO₂ vorherrschen wird und neben biogenem CO₂ weitere CO₂-Quellen wie DAC, aber auch industrielle Punktquellen mit unvermeidbaren Emissionen erschlossen werden sollten.

SolarHy Córdoba – Methanolproduktion für die MiRO-Anlage und Untersuchung von Transportoptionen

Investor Viridi: Beitrag zu Maßnahme M 2

Viridi plant die Erzeugung von grünem Wasserstoff u. a. in Andalusien und aus Transportgründen die Weiterverarbeitung zu erneuerbarem Methanol. Grundlage ist die Nutzung von Solar- und Windenergie, kombiniert mit biogenem CO₂ aus Biomassekraftwerken. Das erneuerbare Methanol könnte in bestehenden Flüssigtransportinfrastrukturen, insbesondere per Bahn, nach Deutschland geliefert und z. B. in einer Mineralöelraffinerie in reFuels umgewandelt werden.

Durchführbarkeitsstudie PtL-Kerosin - Rahmenbedingungen einer innovativen, industriellen Anlage zur Herstellung Sustainable Aviation Fuels (SAF) für den Einsatz am Flughafen Stuttgart

Leitung des Konsortiums: Flughafen Stuttgart

Beitrag zu Maßnahme M 3

Im Rahmen der Durchführbarkeitsstudie PtL-Kerosin sollte gemeinsam mit SkyNRG und Schwenk Zement die Möglichkeit einer SAF-Produktion am Standort eines Zementwerkes in Baden-Württemberg bewertet werden. Dabei sollte das abgeschiedene unvermeidbare CO₂ aus der Zementproduktion für die SAF-Herstellung genutzt werden. Angesichts der regulatorischen Vorgaben auf EU-Ebene hat die Geschäftsführung des Zementwerkes eine SAF-Produktion als unwirtschaftlich bewertet, da eine Nutzung von Zement-CO₂ über 2040 hinaus nicht auf die Kraftstoffproduktion anrechenbar ist. Aufgrund dessen wurde das Projekt neu ausgerichtet und es wurden stattdessen vier Studien vereinbart, um das Projektziel weiterhin zu unterstützen.



Studie zu einer nachhaltigen Transportinfrastruktur für CO₂ für die Nutzung von CO₂ für SAF (Teil der Durchführbarkeitsstudie PtL-Kerosin)

Projektleitung: DBI

Beitrag zu Maßnahme M 3, erweiterte Maßnahmen der Angebotsseite

In dieser Studie wird die Entwicklung einer nachhaltigen Transportinfrastruktur für CO₂ für Baden-Württemberg untersucht. Es wird der notwendige CO₂-Infrastrukturbedarf analysiert, um Transport und Nutzung des in Zementwerken abgeschiedenen CO₂ für reFuels-Anwendungen zu ermöglichen. Dabei wird auch das Angebot und die potenzielle Nachfrage an CO₂ mitbetrachtet. Besonders im Fokus steht weiterhin die Nutzung von CO₂ für die SAF-Produktion.

Bilanzieller Ausgleich von CO₂ aus Zementwerksabgasen mit CO₂ aus biogenen Stoff-Strömen und DAC schwerpunktmäßig für die Produktion von SAF (Teil der Durchführbarkeitsstudie PtL-Kerosin)

Projektleitung: ZSW

Beitrag zu Maßnahme M 3, erweiterte Maßnahmen der Angebotsseite

Im Rahmen dieser Studie wird ein Bilanzierungssystem für CO₂ aus unvermeidbaren Quellen, z. B. Zementwerken, entwickelt, das es ermöglichen soll, das abgeschiedene CO₂ aus diesen Quellen zu nutzen, um Sustainable Aviation Fuels und weitere Produkte herzustellen. Es soll untersucht werden wie Emittenten, in deren Produktionsprozessen auch zukünftig unvermeidbare Emissionen entstehen, das abgeschiedene CO₂ in CCU-Nutzungspfade geben können und mittels langfristiger Speicherung von Negativemissionen, z. B. über Direct Air Capture-Anlagen, bilanziell ausgleichen können. Das System könnte eine pragmatische Lösung für die aktuellen Probleme mit wegfallender Anrechenbarkeit von industriellem CO₂ nach 2040 sein und gleichzeitig eine Lösung für die sich abzeichnenden Engpässe bei biogenem CO₂ sein.

Studie Marokko, Austausch und Delegationsreise

Projektleitung: Growing Markets

Beitrag zu Maßnahme M 4

Im Rahmen einer Länderstudie wurden Projektideen, der Austausch sowie eine Delegationsreise nach Marokko vorbereitet. Ziel war es, Möglichkeiten eines Bezugs von reFuels auszuloten. Aufgrund politischer Spannungen aufgrund des Status der Westsahara konnte die Delegationsreise letztlich nicht durchgeführt werden.

Studie Sicherung der Kraftstoffversorgung für Baden-Württemberg

Projektleitung: Frontier Economics

Beitrag zu Maßnahme M 4

Die Studie befasst sich mit der Forschungsfrage, wie Baden-Württemberg langfristig eine verlässliche Versorgung mit reFuels sicherstellen kann. Hierfür wurden mögliche Importpfade für sogenannte „Renewable Fuels of Non-Biological Origin“ (RFNBOs) analysiert. Dabei wurden sowohl technologische Optionen als auch potenzielle Produktionsstandorte, logistische Transportwege sowie (erforderliche) ökonomische und ökologische Rahmenbedingungen betrachtet. Ziel war es, geeignete Partnerländer für den Import an



reFuels zu identifizieren und die notwendigen Schritte für die Abnahme von Kraftstoffen darzustellen, um die Versorgung Baden-Württembergs mit klimaneutralen Kraftstoffen zu sichern.

Beschleunigte Einführung klimafreundlichster SAFs durch PreScreening (BESP)

Projektleitung: DLR

Beitrag zu erweiterten Maßnahmen der Angebotsseite

Die Entwicklung nachhaltiger Treibstoffe für die Luft- und Schifffahrt ist mit großen Herausforderungen für die Hersteller verbunden. Den Kraftstoff-Herstellern fehlen in frühen Entwicklungsphasen wichtige Informationen über die Eignung ihres Treibstoffs für die Zulassung, aber auch Feedback zu Verbesserungspotenzialen, um beispielsweise die Klimawirkung vor allem hinsichtlich der nicht-CO₂-Effekte zu minimieren. Die Entwicklung und Zertifizierung eines neuen Kraftstoffs ist zudem mit langjährigen und kostenintensiven Arbeiten verbunden. Das Deutsche Zentrum für Luft und Raumfahrt (DLR) bietet mit dem entwickelten Prescreening-Verfahren und der DLR-SimFuel Plattform bereits eine Möglichkeit, schon vor der Zulassung und mit kleinsten Mengen die Zusammensetzung zu charakterisieren und entscheidende Eigenschaften vorherzusagen. Die chemische Zusammensetzung des neuen Kraftstoffs stellt die entscheidende Basis für die Vorhersage seiner Eignung dar und beschleunigt Zulassungsprozesse.

DACfit – DAC-Technologiebenchmark für reFuels-Produktionsstandorte

Projektleitung: ZSW

Beitrag zu erweiterten Maßnahmen der Angebotsseite

Übergeordnetes Ziel des Vorhabens ist es, Direct Air Capture-Technologien zielgerichtet für reFuels-Anwendungen weiterzuentwickeln und so den Markthochlauf von DAC-Anlagen, die u. a. zur Gewinnung von klimaneutralem CO₂ für die Herstellung von reFuels dienen, zu beschleunigen. Konkret soll eine Testinfrastruktur aufgebaut werden, in der DAC-Technologien in Hinblick auf verschiedene klimatische Einsatzbedingungen an reFuels-Produktionsstandorten realitätsnah vorab qualifiziert werden können. So können DAC-Technologien auf die global variierenden Standortbedingungen angepasst und vorbereitet und damit den Akteuren ein verlässlicher Benchmark angeboten werden. Dadurch soll das Vorhaben einen Beitrag dazu leisten, den für die Bereitstellung ausreichender Mengen an reFuels notwendigen Markthochlauf von DAC-Technologien für die Erreichung der Klimaschutzziele zu beschleunigen und damit auch die Marktchancen von baden-württembergischen Unternehmen im Bereich DAC-Anlagen zu stärken.

Aufbau und Inbetriebnahme einer variablen Blandanlage zur Herstellung Bilanzierungsgerechter reFuels-Kraftstoffblends zum Erreichen höherer Beimischungsmengen zur steigenden THG-Reduktion in der Mobilität (BlendBilanz4Mobility)

Projektbeteiligte: Exolum und KIT

Beitrag zu erweiterten Maßnahmen der Angebotsseite und der Nachfrageseite

Ziel des Projektes ist es, mit einer an die Tankanlage der Exolum Mannheim GmbH angeschlossenen Blandanlage die Lieferung zertifizierungsfester Mischkraftstoffe mit bedarfsgerechten unterschiedlichen erneuerbaren Anteilen in Tankwagen-Größe bereitstellen zu können und die digitalen Voraussetzungen



für ihren Einsatz in einer Nachhaltigkeitsbilanzierung zu schaffen. Neu ist dabei nicht nur, dass drei verschiedene Sorten von Kraftstoffen in einem Tanklager gemischt, d.h. geblendet, werden können. Es besteht auch die Möglichkeit, die Daten der Kraftstoffqualität (und des Treibhausgas-Fußabdruckes) mit dem digitalen Kraftstoffwilling von Bosch digital bereit zu stellen. Ein weiterer Aspekt ist die zentrale Lage in Süddeutschland, die Frachtkosten reduziert und eine Versorgung im Havariefall sicherstellt. In diesem Pilotprojekt wird erstmalig in einem Tanklager ermöglicht wird, den CO₂-Abdruck zertifizierungstauglich mit einer digitalen Schnittstelle zu erfassen und damit in weitergehenden Werkzeugen CSR-D (Corporate Sustainability Report – Direktive) -konform dem Land und der Wirtschaft verfügbar zu machen.

Rahmenbedingungen einer innovativen, industriellen Anlage zur Herstellung Sustainable Aviation Fuels (SAF) für den Einsatz am Flughafen Stuttgart (Teil der Durchführbarkeitsstudie PtL-Kerosin)

Projektleitung: NACO

Beitrag zu Maßnahme M 6

Diese Studie untersucht mögliche Strategien zur Förderung der Nutzung von Sustainable Aviation Fuel (SAF) am Flughafen Stuttgart und beleuchtet dessen Rolle innerhalb der SAF-Lieferkette. Die Ergebnisse zeigen, dass der Flughafen zwar nur begrenzte Möglichkeiten hat, den Einsatz von SAF direkt voranzutreiben, jedoch als wichtiger Vermittler und Unterstützer fungieren kann. Als Multiplikator ist er in der Lage, relevante Akteure zusammenzubringen, einen offenen Dialog zu fördern und langfristige Lösungen für die SAF-Herausforderung zu entwickeln und sich für verbesserte politische Rahmenbedingungen einzusetzen.

Vorreiter unter ReFuelEU Aviation – Was ist für Baden-Württemberg möglich?

Projektleitung: d-fine

Beitrag zu Maßnahme M 6

Diese Studie analysiert den regulatorischen Rahmenbedingungen zum Einsatz von Sustainable Aviation Fuels (SAF) und leitet Handlungsempfehlungen ab, die sowohl rechtliche als auch wirtschaftliche Anreize zur Förderung des Einsatzes von SAF an den Flughäfen in Baden-Württemberg umfassen. Hierzu sollen nationale und internationale Regularien sowie die ReFuelsEU Aviation-Verordnung untersucht werden. Zur weiteren Einordnung werden zudem der aktuelle Stand der SAF-Produktion, rechtliche Bedingungen für deren Nachhaltigkeitskriterien und Herstellung sowie bestehende (inter-)nationale Anreizmechanismen für den lokalen SAF-Einsatz in einer umfassenden Marktrecherche betrachtet. Im Kern der Studie werden die relevanten Stakeholder der Luftfahrt in Baden-Württemberg und ihre Prämissen und Herausforderungen beim Einsatz von SAF dargestellt.

Entwicklung einer Konzeption für einen klimaneutraleren Luftverkehr

Projektleitung: d-fine

Beitrag zu Maßnahme M 6

Mit der Konzeption soll ein freiwillig höherer Einsatz von Sustainable Aviation Fuels (SAF) über die Anforderungen der europäischen ReFuelsEU Aviation-Verordnung hinaus angeregt werden. Hierzu wurde ein Kommunikations- und Marketingkonzept erstellt. Zudem wurde das Industriebündnis Allianz Neues Fliegen gegründet, das zusammen mit dem Ministerium den freiwilligen Einsatz von SAF vorantreibt.



Fliegen mit SAF und Wasserstoff – Bedarfsanalyse für SAF und Wasserstoff im Luftverkehr in Baden-Württemberg

Projektleitung: d-fine

Beitrag zu Maßnahme M 6

Ziel der Studie ist es, die Entwicklung von Sustainable Aviation Fuels (SAF) und Wasserstoff in Baden-Württemberg abzuschätzen, um eine Planbarkeit für die Flughafeninfrastruktur und den Bezug von Kraftstoffen über Lieferketten herzustellen. Hierzu wird das Potential des Einsatzes von SAF und Wasserstoff bewertet, vor dem Hintergrund der Flugzeugbewegungen in Baden-Württemberg ausgewertet und basierend auf mehreren Szenarien ermittelt. Auf dieser Grundlage kann bestimmt werden, welche Infrastrukturanpassungen an den Flughäfen im Land zu welchem Zeitpunkt notwendig und wirtschaftlich sinnvoll sind, um den Einsatz von Wasserstoff in Flugzeugen zu fördern. Dies ist insbesondere relevant, da der Aufbau neuer Infrastrukturen einer vorausschauenden Planung und eines rechtzeitigen Planungsbeginns bedarf, sodass die neuen Technologien Zeitpunkt der Marktreife einsetzbar sind. Das Ergebnis verdeutlicht die langfristige Bedeutung von SAF.

Dekarbonisierung der Schifffahrt auf dem Bodensee – woher kommt künftig die Energie für den Schiffsbetrieb?

Hauptauftragnehmer: H2Regio

Beitrag zu Maßnahme M 7

In dieser Machbarkeitsstudie zur Dekarbonisierung des Bodenseeschiffverkehrs werden verschiedene technische Optionen zur Umstellung der Bodenseeschifffahrt auf klimaneutrale Antriebe untersucht und Handlungsempfehlungen für die weitere Umsetzung formuliert.

Klimaneutraler Bodensee

Projektbeteiligte: KIT, Bosch, Marinas

Beitrag zu Maßnahme M 7

Ziel des Projekts ist es, die privaten Bootsflotten am Bodensee sukzessive klimaneutral zu gestalten und damit einen Beitrag zur Umsetzung der Klimaziele der Region bis 2040 zu leisten. Die beiden klimafreundlichen Kraftstoffe HVO100 und Nautic E10 stehen an den drei baden-württembergischen Bodenseetankstellen zur Verfügung: Ultramarin in Kressbronn, Rudolf Bootservice in Konstanz und Bodenseenautic Busse in Wallhausen. Die eingesetzten Kraftstoffe sind zertifiziert und stammen aus nachhaltigen Lieferketten. Mithilfe des von Bosch entwickelten Tools „Digital Fuel Twin“ wird die CO₂-Einsparung bei jeder Betankung präzise berechnet und direkt auf der Quittung ausgewiesen. Darüber erhalten Bootsbesitzer einen transparenten Nachweis über ihren Beitrag zum Klimaschutz. Die Erfahrungen aus dem Pilotprojekt werden in die weitere Entwicklung der klimaneutralen Schifffahrt am Bodensee einfließen und sind beispielgebend für die anderen Mitglieder der IBK sowie weitere Bereiche der Binnenschifffahrt



Kurzstudie zur Analyse der Optionen für eine schnelle Einführung emissionsfreier bzw. CO₂-neutral betriebener Fahrzeuge in der Landwirtschaft in Baden-Württemberg

sowie

Studie zum Technologievergleich unterschiedlicher Antriebsoptionen für treibhausgasneutrale schwere landwirtschaftliche Fahrzeuge

Projektleitung: d-fine

Beitrag zu Maßnahme M 9

In diesen beiden Studien, die letztlich zu einer zusammengefasst wurden, wird in Szenarien die Eignung emissionsarmer Kraftstoffe und Antriebstechnologien für den Einsatz in Fahrzeugen der Landwirtschaft untersucht. Neben kurzfristig realisierbaren Optionen für die Treibhausgasreduzierung in der Landwirtschaft werden auch langfristige Technologiepfade untersucht. Im Kontrast zum Individualverkehr sowie dem öffentlichen Nahverkehr, ist eine vollständige Elektrifizierung landwirtschaftlicher Maschinen aufgrund des hohen Energiebedarfs bestimmter Fahrzeugtypen nicht möglich. In diesem Kontext wird insbesondere der Einsatz von reFuels untersucht, welche eine langfristige und nachhaltige Perspektive für die Nutzung schwerer landwirtschaftlicher Maschinen bieten. Neben der Marktreife der betrachteten Kraftstoffe werden auch Aspekte des Rohstoffeinsatzes, der Wirtschaftlichkeit und Akzeptanz, der Technologiereife sowie der Emissionsreduktion in die Analysen mit einbezogen. Aufgrund des langfristigen Betrachtungshorizonts, erfolgt neben der Analyse bestehender Drop-In Lösungen wie HVO100 und Biodiesel und Pflanzenölkraftstoffen auch eine technologieoffene Reflexion potenzieller klimaschonender Kraftstoffe, auch wenn diese noch keine Marktreife bieten. Dies beinhaltet Kraftstoffe Power-to-Liquid, Wasserstoff und Methanol.

Kurzstudie Biomethan

Projektleitung: d-fine

Beitrag zu Maßnahme M 9

Die Kurzstudie untersucht das Potenzial für Landwirtschaft sowie für ÖPNV und Schwerlastverkehr mit dem Schwerpunkt auf der Nutzung von Reststoffen wie Gülle und Stroh zur Produktion von Biomethan (Bio-CNG und Bio-LNG). Vor dem Hintergrund auslaufender EEG-Förderungen werden Umrüstungen, Clusterlösungen und Hoftankstellen als zentrale Optionen für den Weiterbetrieb von Biogasanlagen geprüft. Technisch ist Biomethan einsatzbereit, der flächendeckende Einsatz wird jedoch aktuell durch begrenzte Infrastruktur, hohe Investitionskosten und regulatorische Unsicherheiten eingeschränkt. Die Studie zeigt das Potenzial von Biomethan zur Dekarbonisierung auf.



Machbarkeitsstudie zum Einsatz und der Beschaffung von synthetischem Kerosin für die Hubschrauberflotte der Landespolizei

Projektleitung: d-fine

Beitrag zu Maßnahme M 11

Im Rahmen der Studie wird der Einsatz von Sustainable Aviation Fuels (SAF) in der Hubschrauberflotte der Landespolizei Baden-Württembergs unter technischen, operationellen und wirtschaftlichen Aspekten sowie hinsichtlich des Emissionsreduktionspotenzials untersucht. Hierzu wird die technische Machbarkeit des Einsatzes von SAF in der Hubschrauberflotte im Hinblick auf die betrieblichen Anforderungen analysiert. Dazu wird die bestehende Hubschrauberflotte technisch analysiert, Anforderungen und Bedarf ermittelt und die aktuelle Beschaffung von Jet A-1 untersucht. Es wird betrachtet, welche Herstellungspfade und Beimischungsquoten der SAF zugelassen sind sowie wie sich Mehrkosten und Emissionen im Vergleich zu fossilem Jet A-1 verhalten. Anschließend werden Optionen zur Beschaffung von SAFs entwickelt und unter Berücksichtigung möglicher Kostenstrukturen betrachtet. Dabei werden konkrete Anforderungen und rechtliche Rahmenbedingungen der Landespolizei potenziellen Lieferanten gegenübergestellt. Erfahrungsberichte aus Projekten zum Einsatz von SAFs für ähnliche Anwendungsfälle und Flotten sollen zudem Einblicke aus der Praxis geben. Methodisch wird eine umfangreiche Recherche zum Stand der Technik und zukünftigen Entwicklung des SAF-Markts ergänzt durch Einblicke von Expertinnen und Experten aus der Forschung, Wirtschaft und Anwendung.

Plattform InnoFuels

Projektleitung: KIT

Beitrag zu Maßnahme M 12

Ziel der Plattform InnoFuels ist die Vernetzung verschiedener Akteure im Bereich reFuels sowie die Weiterentwicklung und das Schaffen von Rahmenbedingungen für den Markthochlauf synthetischer Kraftstoffe. Die Plattform vereint dabei Forschungseinrichtungen, Hersteller aus der Automobil-, Flug- und Schifffahrtsbranche, Energielieferanten sowie Bundes- und Landesministerien. Daneben sind weitere assoziierte Partner in die Plattform integriert, um das Knowhow dieser Akteure ebenfalls mit einbinden zu können. Das Projekt ist in insgesamt sieben Innovationsschwerpunkten organisiert: Produktion, Supply Chain, Anwendung Luftverkehr, Anwendung Schiffsverkehr, Anwendung Straßen- und Schienenverkehr, Nachhaltigkeit sowie Markt & Regulierung.

Direct Air Capture made in Baden-Württemberg

Projektleitung: ZSW

Beitrag zu erweiterten Maßnahmen der Angebotsseite, M 13, M 14

Im Rahmen des Projekts wurde die Grundlage für die industrielle Entwicklung von DAC-Technologien in Baden-Württemberg gelegt. Ziel des Projekts war die Initiierung und Umsetzung einer industriellen und wettbewerbsfähigen DAC-Fertigung mit Wertschöpfung aus Baden-Württemberg. Mit dem Projekt wurde



ein Netzwerk von über 40 Firmen aufgebaut und über mehrere Workshops zusammengeführt. Zudem wurden die Marktpotenziale von CO₂ als Rohstoff identifiziert und die Wertschöpfungspotenziale von DAC für Baden-Württemberg ermittelt. Technisch konnte eine skalierbare Demonstrationsanlage mit einer Kapazität von 100 Tonnen CO₂ pro Jahr in Betrieb genommen werden. Zudem wurden computergestützte Simulationen der Teilprozesse Ab- und Desorption durchgeführt, sog. CFD-Simulationen (Computational Fluid Dynamics).

Monitoring zur Umsetzung der Roadmap reFuels

Projektleitung: ZSW

Beitrag zu Maßnahmen der Nachfrageseite, M 15

Die Umsetzung der Roadmap reFuels für Baden-Württemberg wird systematisch durch das Monitoring-Projekt begleitet. Ziel des Monitorings ist es, Fortschritte bei der Umsetzung der Maßnahmen kontinuierlich zu erfassen, Erfolge sichtbar zu machen und frühzeitig Hemmnisse sowie neue Handlungsbedarfe zu identifizieren. Das Monitoring versteht sich dabei als lernendes System, das es ermöglicht, Maßnahmen bedarfsgerecht weiterzuentwickeln und den Transformationsprozess flexibel an neue Rahmenbedingungen anzupassen.

Ergänzend erfolgt eine kontinuierliche Beobachtung der regulatorischen Rahmenbedingungen für reFuels auf EU- und Bundesebene. Diese Analysen dienen als Entscheidungsgrundlage für die Weiterentwicklung von Maßnahmen in Baden-Württemberg. Darüber hinaus begleitet das Monitoringvorhaben das Verkehrsministerium Baden-Württemberg bei der fachlichen Ausgestaltung sowie der Umsetzung konkreter Aktivitäten zur Steigerung von Angebot und Nachfrage im reFuels-Bereich.

Im Rahmen des Projekts wird zusätzlich regelmäßig der internationale Projektfortschritt zur Erzeugung und Nutzung erneuerbarer Kraftstoffe (darunter Power-to-Liquid, Methanol, Ammoniak und Wasserstoff) analysiert und dokumentiert.



Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Acht zentrale Stellschrauben für den Einstieg in die industrielle Produktion von reFuels. ...	18
Abbildung 2: Im Rahmen von Maßnahme M 15 identifizierte Bedarfe an Benzin aus PtL und Biokraftstoffen in den Nachfragebereichen der Roadmap reFuels bis 2040 (Quelle: ZSW).....	20
Abbildung 3: Im Rahmen von Maßnahme M 15 identifizierte Bedarfe an Diesel aus PtL und Biokraftstoffen in den Nachfragebereichen der Roadmap reFuels bis 2040 (Quelle: ZSW). Beim Flughafen Stuttgart umfasst der Dieselbedarf den Bedarf der Fahrzeugflotte auf dem Flughafenvorfeld.....	20
Abbildung 4: Im Rahmen von Maßnahme M 15 identifizierte Bedarfe an Kerosin aus PtL und Biokraftstoffen in den Nachfragebereichen der Roadmap reFuels bis 2040 (Quelle: ZSW). Die SAF-Quote umfasst die Bedarfe, die sich aufgrund der europäischen SAF-Quote für Flugkraftstoffe für Baden-Württemberg ergeben. Während die SAF-Quote auch durch Biokraftstoffe erfüllt werden kann, ist eine zusätzliche PtL-Unterquote ausschließlich durch PtL zu erfüllen.....	21
Abbildung 5: Hochlauf angekündigte erneuerbare PtL-Produktionskapazitäten. Eigene Darstellung basierend auf Daten der IEA.....	32
Abbildung 6: Verteilung der angekündigten Produktionskapazitäten von PtL-Kraftstoffen im Jahr 2045. Darstellung basierend auf Daten der IEA.	33
Abbildung 7: Hochlauf der angekündigten Produktionskapazitäten für erneuerbares Methanol. Darstellung basierend auf Daten der IEA.	34
Abbildung 8: Verteilung der angekündigten Produktionskapazitäten von Methanol im Jahr 2045. Darstellung basierend auf Daten der IEA.	35
Abbildung 9: Hochlauf der angekündigten erneuerbaren Produktionskapazitäten für Wasserstoff. Eigene Darstellung basierend auf Daten der IEA.	36
Abbildung 10: Verteilung der angekündigten Produktionskapazitäten von Wasserstoff im Jahr 2050. Darstellung basierend auf Daten der IEA.	37
Abbildung 11: Hochlauf der erneuerbaren Produktionskapazitäten für Ammoniak. Eigene Darstellung basierend auf Daten der IEA (2024)	38
Abbildung 12: Verteilung der angekündigten Produktionskapazitäten von Ammoniak im Jahr 2050.....	39