

Thüringer Landesstrategie Wasserstoff



Thüringer Landesstrategie Wasserstoff

Stand 22. Juni 2021

Fortschreibung der gutachterlichen Betrachtung „Wasserstoff in Thüringen“ im Rahmen der Interministeriellen Arbeitsgruppe „Wasserstoff und Energiewende“ unter Federführung von:

Thüringer Ministerium für Umwelt, Energie und Naturschutz

und Beteiligung von:

Thüringer Ministerium für Wirtschaft, Wissenschaft und Digitale Gesellschaft

Thüringer Ministerium für Infrastruktur und Landwirtschaft

Thüringer Staatskanzlei

Bearbeitung:

Thüringer Energie- und GreenTech-Agentur GmbH (ThEGA)

Mainzerhofstraße 10

99084 Erfurt

Thüringer Ministerium für Umwelt, Energie und Naturschutz (TMUEN)

Beethovenstraße 3

99096 Erfurt

Präambel

Das Land Thüringen stellt sich den Herausforderungen zur Erreichung der globalen und nationalen Klimaschutzziele und unterstützt die heimische Wirtschaft bei den anstehenden Transformationsprozessen. Wasserstoff, der klimaneutral erzeugt wird, kann dabei für den Industrie- und Technologiestandort Thüringen in Zukunft eine zunehmend wichtige Rolle spielen. Für Teile der Industrie ist Wasserstoff schon heute ein sehr bedeutender Rohstoff. Zudem entwickelt sich die Wasserstofftechnologie zu einem zentralen, neuen Element im Energiesektor, etwa bei der Stromspeicherung, der Wärmeversorgung und im Transportsektor.

Der Aufbau einer regenerativen Wasserstoffwirtschaft hat sowohl ökologische (Energiewende, Klimaschutz, Luftreinhaltung) als auch ökonomische Aspekte (Wertschöpfung, Standortsicherung, Steuereinnahmen). Gelingt in Thüringen der Einstieg in die Wasserstoffwirtschaft, ergeben sich für das Land neue wirtschaftliche Chancen, verbunden mit der Schaffung neuer, hochqualifizierter Arbeitsplätze im Einklang mit einem ressourcenschonenden und klimaneutralen Wirtschaftskreislauf.

Um die Aktivitäten im Bereich Wasserstoff zu forcieren, rief das Land Thüringen im Juni 2020 eine Interministerielle Arbeitsgruppe Wasserstoff und Energiewende ins Leben. Die Federführung liegt beim Umweltministerium, daneben sind die Staatskanzlei, das Wirtschaftsministerium und das Infrastrukturministerium beteiligt. An den Sitzungen nehmen regelmäßig Akteure aus Wirtschaft und Wissenschaft teil. Dabei wird auf der Arbeit der vergangenen Jahre, wie den Eckpunkten einer Wasserstoffstrategie vom Umweltministerium aus dem Jahr 2019, und den bisherigen Erfahrungen der Thüringer Akteure aufgebaut.

Die Thüringer Wasserstoffstrategie unterstreicht die Ambitionen des Landes Thüringen, den Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft voranzutreiben. In der Strategie manifestiert sich der klare politische Wille, einen intensiven Austausch zwischen Wissenschaft, Verwaltungen sowie öffentlichen wie privaten Unternehmen zu initiieren und zu moderieren, um zielführende politische Entscheidungen im Sinne des Marktes und unter Berücksichtigung des Stands der Technik zu treffen. Als Basis für eine nachhaltige Wasserstofferzeugung muss der Ausbau der erneuerbaren Energien in Thüringen in den Fokus rücken und zugleich vergegenwärtigt werden, dass Wasserstoffanwendungen besonders für die Industrie, den Schwerverkehr und die Versorgungssicherheit geeignet erscheinen. Handlungsansätze seitens des Landes können, unter Beachtung von Wirtschaftlichkeitsgesichtspunkten, beispielsweise das Stärken von Forschung und Entwicklung, der gezielte Einsatz von Förderprogrammen für Wasserstoffprojekte, das Realisieren konkreter Bauvorhaben seitens der öffentlichen Hand oder die Etablierung neuer und der Ausbau vorhandener Vernetzungsstrukturen sein.

Inhaltsverzeichnis

Präambel	I
Inhaltsverzeichnis.....	II
Abbildungsverzeichnis.....	IV
Tabellenverzeichnis.....	V
1 Einleitung und Hintergrund.....	1
2 Technische Grundlagen	3
2.1 Erzeugungsmöglichkeiten und Wasserstoff-Farblehre	3
2.2 Kosten der Wasserstofferzeugung	5
2.3 Anwendungsgebiete für Wasserstoff.....	7
3 Forschungs- und Innovationslandschaft global bis regional	9
3.1 Global	9
3.2 Europäisch.....	11
3.3 National	11
3.4 Regional	12
4 Struktur der Thüringer Wirtschaft.....	14
5 Technische Infrastrukturen in Thüringen.....	17
6 Bestandsaufnahme der Thüringer Wasserstoffaktivitäten	21
6.1 Hersteller von Komponenten und Technologien für Wasserstoffanwendungen	21
6.2 Dienstleister für Wasserstoffanwendungen	24
6.3 Erzeugerstrukturen und derzeitiger Wasserstoffbedarf in Thüringen	26
6.4 Infrastrukturen für die Wasserstoffnutzung.....	27
6.5 Wasserstoff-Forschung und -Entwicklung	29
6.6 Vernetzungsaktivitäten.....	31
6.7 Sonstige Wasserstoffansätze.....	32
7 Potentiale für grünen Wasserstoff in Thüringen.....	36
8 Zielstellung, Handlungsfelder und Ausblick	41
8.1 Mit grünem Wasserstoff die Thüringer Klimaschutzziele erreichen	41

8.2	Rahmenbedingungen für den Aufbau einer nachhaltigen und grünen Wasserstoff-Wirtschaft setzen	42
8.3	Aufbau einer relevanten Wasserstoff-Wirtschaft in Thüringen	43
8.4	Vorbildfunktion der öffentlichen Hand als Wasserstoff-Anwender	44
8.5	Ausbau der Forschungslandschaft sowie technologie- und infrastrukturbezogene Förderprogramme	44
8.6	Synergien erkennen und nutzen	45
Quellenverzeichnis		47

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Wasserstoff-Farblehre	4
Abbildung 2: Kosten und Kostentrends der Produktion von Wasserstoff.....	6
Abbildung 3: Anteil des produzierenden Gewerbes (sekundären Sektors) an der Bruttowertschöpfung 2016 nach Landkreisen/kreisfreien Städten in Thüringen	15
Abbildung 4: Anteil der Beschäftigten im verarbeitenden Gewerbe nach Betriebsgröße in Deutschland und Thüringen September 2017	15
Abbildung 5: Anteil der verschiedenen Wirtschaftszweige an der Bruttowertschöpfung in Deutschland und Thüringen 2016	15
Abbildung 6: Hersteller von Komponenten und Technologien für Wasserstoffanwendungen.....	24
Abbildung 7: Dienstleister für Wasserstoffanwendungen	26
Abbildung 8: Erzeugerstrukturen und derzeitiger Wasserstoffbedarf	27
Abbildung 9: Infrastrukturen für die Wasserstoffnutzung.....	29
Abbildung 10: Wasserstoff-Forschung und -Entwicklung	31
Abbildung 11: Sonstige Wasserstoffansätze in Regionen und an Standorten.....	35

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Verfahren zur Wasserstofferzeugung.....	3
Tabelle 2:	Potentiale der H ₂ -Nutzungspfade.....	9
Tabelle 3:	Windkraftanlagen, große Photovoltaikanlagen und landwirtschaftliche Biogasanlagen in Thüringen.	17

1 Einleitung und Hintergrund

Das treibhausgasintensive Energiesystem führt in einer Schädigung des Klimas, welche nur durch eine konsequente Dekarbonisierung abgemildert werden kann. Die **Energiewende** und die damit verbundene **Umstellung des Energiesystems** von fossilen auf erneuerbare Energieträger ist auch für Thüringen eine zentrale Herausforderung.

In Zeiten von weltweiter **Rohstoffverknappung** und zunehmenden **Umweltbewusstseins** wird die **Rolle des Wasserstoffs** bei der nationalen und globalen Energiewende **stark diskutiert**. In vielen Bereichen der Energienutzung können durch Elektrifizierung und Nutzung erneuerbarer Energien effizient CO₂-Emissionen eingespart werden. Jedoch ist eine direkte Versorgung mit dem Energieträger Strom nicht in jedem Anwendungsbereich sinnvoll oder realisierbar. **Wasserstoff, hergestellt aus erneuerbarem Strom**, ist unter bestimmten Bedingungen gut speicher- und transportierbar und damit grundsätzlich überall **verfügbar**. **Er stellt somit einen wichtigen Lösungspfad für diese nicht elektrifizierbaren Bereiche dar.**

Eine erfolgreiche Energiewende bedeutet die Kombination von Versorgungssicherheit, Bezahlbarkeit und Umweltverträglichkeit mit innovativem und intelligentem Klimaschutz. Dafür braucht es alternative Optionen zu den derzeit noch eingesetzten fossilen Energieträgern. Wasserstoff bekommt hier eine **zentrale Rolle** für die Gestaltung einer zukunfts- und wettbewerbsfähigen Energiewende. Prinzipiell kann für einen schnellen **Markthochlauf** auch erdgasbasierter, über die komplette Erzeugungskette nicht vollständig emissionsfreier, blauer bzw. türkiser Wasserstoff als Brückentechnologie zum Einsatz kommen. Mittelfristig muss der **Fokus** allerdings auf treibhausneutralem, **grünem Wasserstoff** liegen.

Thüringen kann von einer klug und ambitioniert entfalteten Wasserstoffwirtschaft profitieren. Diese „**Wasserstoffwirtschaft**“ umfasst alle Technologien, Verfahren, Produkte und Infrastrukturen, durch die und mit denen hauptsächlich oder ausschließlich **Wasserstoff** als Energieträger entlang der gesamten **Wertschöpfungskette** von der Erzeugung, der Speicherung und der Verteilung für verschiedene Anwendungsbereiche zur Verfügung gestellt wird. Alle Glieder der Wertschöpfungskette sind dabei dergestalt zu koordinieren und miteinander zu verzahnen, dass die prozessbeteiligten **Akteure** aus ökonomischer Sicht mittelfristig von der aufgestellten Wasserstoffwirtschaft nachhaltig **profitieren**.

Die Frage, in welchem Ausmaß der künftig in Deutschland benötigte Wasserstoff **im Land erzeugt** werden kann oder ob er zumindest teilweise **importiert** werden soll, kann noch nicht abschließend beantwortet werden. Dazu werden derzeit umfassende Studien angefertigt. Es zeichnet sich

allerdings jetzt schon ab, dass bei einer stark auf die heimische Produktion ausgerichtete Strategie ein deutlicher Zuwachs in der Wertschöpfung zu erwarten wäre.

Mit dem **European Green Deal** geht die EU den Weg, die politische Verpflichtung, bis 2050 klimaneutral zu sein, in eine rechtliche Bindung umzuwandeln. Auch Wasserstofftechnologien sollen dabei massiv gefördert werden. So sieht die **Europäische Wasserstoffstrategie** einen Aufbau von mindestens 6 GW Elektrolyseleistung und damit jährliche Erzeugungskapazitäten von bis zu 1 Mio. t grünem Wasserstoff bis 2024 vor. Bis 2030 soll die Gesamtleistung der Elektrolyseure auf 40 GW und die erneuerbare Wasserstofferzeugung auf bis zu 10 Mio. t steigen (Europäische Kommission 2020). Um diese Ziele zu erreichen, wurde die **European Clean Hydrogen Alliance** (ECH2A) gegründet, welche namhafte Akteure aus Industrie, Wissenschaft, Politik und Zivilgesellschaft vereint.

Auch die Bundesregierung hat im Juli 2020 die **Nationale Wasserstoffstrategie** beschlossen und veröffentlicht. Diese sieht vor, bis 2030 Elektrolyseanlagen mit einer Gesamtleistung von bis zu 5 GW und einem jährlichen Wasserstoffoutput von bis zu 14 TWh zu installieren. Spätestens bis 2040 sollen sich die Kapazitäten verdoppeln. Es werden insgesamt **9 Mrd. Euro** bereitgestellt, um Deutschland sowohl **national** als auch **international** in der Wasserstoffwirtschaft nach vorn zu bringen. (BMW 2020a)

Viele Bundesländer oder Regionen haben bereits strategische Papiere zur Wasserstoffnutzung erstellt und dabei auch die Themen Wertschöpfung, Arbeitsmarkt und die Abhängigkeit von Energieimporten adressiert. Die **norddeutschen Küstenländer** Bremen, Hamburg, Niedersachsen, Mecklenburg-Vorpommern und Schleswig-Holstein haben im November 2019 eine Norddeutsche Wasserstoffstrategie verabschiedet, welche als Ergebnis einer intensiven länderübergreifenden Zusammenarbeit hervorgeht. Auch **Bayern** verfügt seit Mai 2020 über die „Bayerische Wasserstoff-Strategie“. Diese definiert, aufbauend auf dem Erreichten, klare Ziele und konkrete Maßnahmen, um Bayern am Wettbewerb um die besten technologischen Lösungen teilhaben zu lassen. **Sachsen** hat mit **Sachsen-Anhalt** und **Brandenburg** ein gemeinsames Eckpunktepapier erarbeitet, welches das Fundament für weitreichende regionale Aktivitäten bildet. So wollen die Länder demnächst eigene Wasserstoffstrategien entwickeln, die auf ihre individuellen Bedarfe zugeschnitten sind.

Die (**Thüringer Landesregierung 2014**) hat im Koalitionsvertrag verankert, das Land Thüringen solle „[...] bis 2040 seinen Eigenenergiebedarf bilanziell durch einen Mix aus 100 % regenerativer Energie selbst decken können“. Eine solche Umstellung der Energieversorgung ist ohne Wasserstofftechnologien schwer denkbar.

Im Oktober 2019 hat die Bauhaus-Universität Weimar die gutachterliche Betrachtung „Wasserstoff in Thüringen - Ausgangslage, Potentiale und Handlungsoptionen“ erstellt, welche die (ThEGA 2019)

veröffentlichte. Auf dieser Basis wurde die vorliegende **Wasserstoffstrategie für das Land Thüringen** erarbeitet.

2 Technische Grundlagen

2.1 Erzeugungsmöglichkeiten und Wasserstoff-Farblehre

Wasserstoff (H_2) ist ein **farbloses Gas**, das in freier Form natürlicherweise nicht vorkommt – Wasserstoff kommt vielmehr fast ausschließlich in **gebundener Form** (z.B. Wasser, Biomasse, Kohlenwasserstoffe) vor und muss durch technische Verfahren aus diesen Verbindungen gewonnen werden. Aufgrund der zahlreichen Erzeugungspfade/Techniken zur Herstellung von Wasserstoff wird nach verschiedenen Farben differenziert. Grundlage bilden die drei in Tabelle 1 dargestellten zentralen **Herstellungsarten** Elektrolyse, Dampfreformierung und Methanpyrolyse (Kvaerner-Verfahren). (DIHK 2020)

Tabelle 1: Verfahren zur Wasserstofferzeugung (PEM – Polymer Electrolyte Membrane; SOEC – Solid Oxide Electrolyzer Cell; EE – Erneuerbare Energien; CCU – Carbon Capture and Utilization; CCS – Carbon Capture and Storage)

	Elektrolyse	Pyrolyse / Vergasung	Dampfreformierung
Entwicklungsstadium	Marktfähig (Alkali, PEM) Pilotvorhaben (SOEC)	Pilotvorhaben	Standardverfahren
Verwendete Ressource	Wasser + Strom (EE/ aktueller Strommix/ Atomstrom)	Erdgas / Kohle / Biomasse	Erdgas (Methan) + Wasserdampf
Entstehende Produkte	Wasserstoff + Sauerstoff	Wasserstoff + Kohlenstoff /Kohlendioxid	Wasserstoff + Kohlendioxid
Nutzung der Produkte	Sauerstoffnutzung (Abwasseraufbereitung, Krankenhaus, chem. Industrie, etc.)	Kohlenstoff (CCU, Grundatom der organischen Chemie, Graphit, Carbon) Kohlendioxid (CCS/ggf.CCU)	Kohlendioxid (CCS/ggf.CCU)
CO ₂ -Fußabdruck	EE-Strom: gering Akt. Strommix: hoch	gering oder mittel (gesamte Lieferkette/ Leckagen Förderung)	mittel (gesamte Lieferkette/ Leckagen Förderung)
Kosten	mittel bis hoch	mittel	niedrig

Wasserstoff wird bisher überwiegend mittels **thermochemischen Konversionsverfahren** hergestellt. Dazu zählen neben dem Standardverfahren der Dampfreformierung noch die partielle Oxidation und die autotherme Reformierung. Weitere Prozesse, in denen Wasserstoff als Nebenprodukt anfällt, sind Raffinerieprozesse und die Chlor-Alkali-Elektrolyse.

Obwohl Wasserstoff ein farbloses Gas ist, wird je nach Art der Erzeugung zwischen verschiedenen **Farben** differenziert (siehe Abbildung 1). Die Dampfreformierung ist das zentrale technische Verfahren zur Herstellung von sog. **grauem** Wasserstoff aus fossilen Energieträgern und sog. **blauem** Wasserstoff aus Erdgas. Der Unterschied zur Herstellung von blauem Wasserstoff liegt in der Anwendung des CCS (Carbon Capture and Storage) oder CCU (Carbon Capture and Utilisation). Bei diesen Verfahren wird das CO₂ entweder unterirdisch verpresst und eingelagert oder dient als Rohstoff für weitere Prozesse, wodurch der CO₂-Fußabdruck erheblich reduziert wird. Zum gegenwärtigen Zeitpunkt ist die Dampfreformierung das ausgereifteste, meist genutzte und vor allem wirtschaftlichste Verfahren. Die Reformierung von Erdgas ist mit prozessbedingten CO₂-Emissionen verbunden.

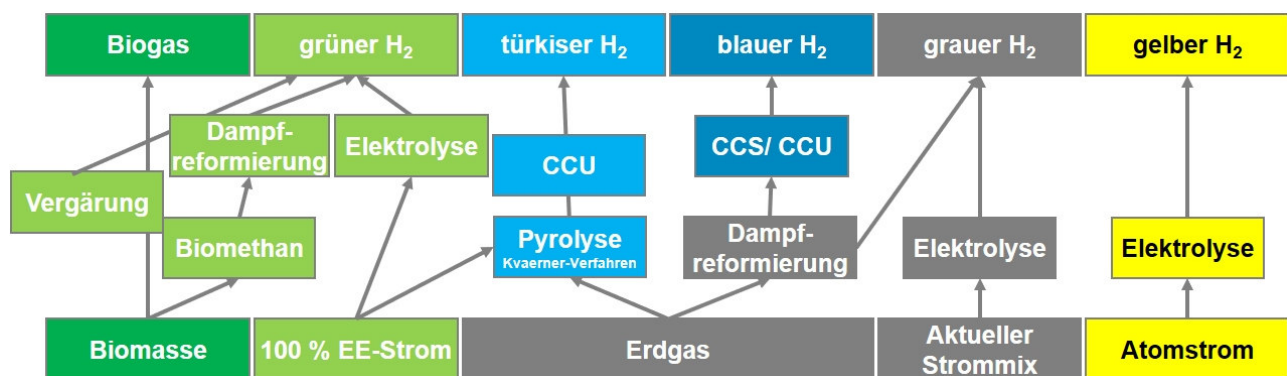


Abbildung 1: Wasserstoff-Farblehre (CCS-Carbon Capture and Storage, CCU-Carbon Capture and Utilisation)

Eine relativ neue und stark diskutierte Prozesstechnologie ist die Methanpyrolyse. Sie dient als Grundlage zur Herstellung von sog. **türkisem** Wasserstoff. Dabei wird Erdgas oder Biomethan durch thermische Spaltung ohne Sauerstoffzufuhr in einem Hochtemperaturreaktor in seine Bestandteile Wasserstoff und Kohlenstoff zerlegt. Anstelle des Treibhausgases CO₂ entsteht dadurch als Nebenprodukt vorrangig fester Kohlenstoff. Der Energieaufwand im Vergleich zur Dampfreformierung ist jedoch um ca. ein Drittel höher. Außerdem fällt der Wasserstofftertrag aus derselben Menge Erdgas nur halb so groß aus. (DIHK 2020)

Eine Alternative gegenüber der fossilen Wasserstofferzeugung bieten regenerative Verfahren, deren direkter oder indirekter Ursprung stets die Sonnenenergie ist. Die Erzeugung von Wasserstoff aus Biomasse lässt sich einerseits biologisch über Vergärung, andererseits über thermochemische Prozesse realisieren. Die aktuell größte Bedeutung einer regenerativen und effizienten Wasserstofferzeugung im industriellen Maßstab kommt jedoch der Wasserelektrolyse zu. Die Wasserelektrolyse ist ein elektrochemischer Prozess, bei dem Wasser durch Gleichstrom in Wasserstoff (sog. **grüner** Wasserstoff) und Sauerstoff zersetzt wird. An der negativ geladenen Kathode sammelt sich der Wasserstoff, an der Anode der Sauerstoff. Derzeit wird zwischen drei Verfahren differenziert. Die Alkalische Elektrolyse (AEL), in der ein basischer flüssiger Elektrolyt

zum Einsatz kommt, welcher bei der Proton Exchange-Membrane-Elektrolyse (PEM) durch einen sauren polymeren Festelektrolyten ersetzt wird. Die Hochtemperaturelektrolyse (SOEC) arbeitet hingegen mit einem Festoxid-Elektrolyten.

Die **alkalische Elektrolyse** ist das älteste Verfahren und ist industriell im großen Maßstab verfügbar. Neben der hohen Langzeitstabilität und den geringen Investitionskosten werden für das Elektrodenmaterial keine seltenen Erden benötigt. Zwar erzielen Anlagen dieser Art derzeit die höchsten Wirkungsgrade, jedoch ist die Nutzung volatiler Stromquellen aufgrund der trägen Laständerung und des relativ geringen Teillastbereichs problematisch. **PEM-Elektrolyseure** können aufgrund des guten Lastwechselverhaltens besser mit schwankenden Strommengen umgehen und der Teillastbetrieb ist über ein breiteres Spektrum möglich. Nachteilig sind der niedrige Leistungsbereich und die höheren Investitionskosten gegenüber der Alkali-Elektrolyse. Mittlerweile gibt es jedoch kommerziell verfügbare PEM-Elektrolyseure im Megawatt-Maßstab. Die **Hochtemperaturelektrolyse** (SOEC) steht vor dem Übergang zur industriellen Anwendung und ist somit noch nicht kommerziell verfügbar. Dies liegt insbesondere an den hohen Prozesstemperaturen und den daraus resultierenden Materialanforderungen. Da ein Teil der zur Wasserspaltung benötigten Energie durch die Wärme bereitgestellt wird, verringert sich der Strombedarf, was jedoch auch zu erhöhten Anfahrzeiten führt. Somit ergeben sich zukünftig speziell im Bereich der Abwärmenutzung Potentiale für die Hochtemperaturelektrolyse. (FfE 2019)

Letztlich ist entscheidend, dass der grüne Wasserstoff aus der Elektrolyse **nur so grün ist wie der Strom**, der zur Herstellung verwendet wird, weshalb der Markthochlauf maßgeblich vom **Ausbau der erneuerbaren Energien** abhängt.

2.2 Kosten der Wasserstoffherzeugung

Der **niedrige Preis** für industriell gegenwärtig fast ausschließlich verwendeten **grauen** Wasserstoff ist eine der größten **Hürden** für die Nutzung der grünen Alternative. Aus diesem Grund könnte auch **blauer** Wasserstoff als **Brückentechnologie** benötigt werden, welcher sich nur durch die Abscheidung und unterirdischen Einlagerung des bei der Erzeugung freiwerdenden gasförmigen Kohlenstoffs unterscheidet. Somit liegt der Preis wesentlich näher am grauen Wasserstoff. (Greenpeace Energy 2020) hat die **Herstellungskosten** von grauem, blauem und grünem Wasserstoff in den Jahren 2019, 2030 und 2050 untersucht. Danach lagen die Kosten für grauen Wasserstoff im **Jahr 2019** bei 4,5 ct/kWh (ca. 1,50 €/kg¹), für blauen bei 6,36 ct/kWh und für grünen bei 16,5 ct/kWh. Im **Jahr 2030** könnten sich die Kosten für grauen und blauen Wasserstoff laut (Greenpeace Energy 2020) angleichen und aufgrund der Annahmen zur CO₂-Abgabe (100 €/t) auf

¹ 1 €/kg H₂ entspricht ca. 3 ct/kWh H₂

7,2 ct/kWh steigen. Eine andere Studie im Auftrag des (BMWi 2020b) geht von einem **CO₂-Preis** von 180 €/t im Jahr 2030 aus. Laut dem (UBA 2019a) belaufen sich die **Klimakosten**, also die durch das CO₂ verursachten Schäden, sogar auf 205 €/t im Jahr 2030. Die Kosten für blauen und grauen Wasserstoff wären entsprechend höher und lägen bei einem CO₂-Preis von 205 €/t im Bereich von 8,23 und 9,25 ct/kWh. Grüner Wasserstoff würde laut (Greenpeace Energy 2020) auf 12 ct/kWh bzw. bei einem Preissturz der Elektrolyseure sogar auf 9 ct/kWh sinken. In Abbildung 2 sind diese Kosten und Kostentrends dargestellt.

Die **EEG-Umlagebefreiung** bei der Produktion von Wasserstoff, wie von der Bundesregierung umgesetzt, würde die Kosten für grünen Wasserstoff noch mal senken. Insofern wäre **grüner Wasserstoff** in einem absehbaren **Zeitraumen wirtschaftlich darstellbar** gegenüber den fossilen Alternativen. Generell ist bei diesen Zahlen darauf zu achten, dass für den Transport, die Speicherung und die Bereitstellung mit zusätzlichen Kosten zu rechnen ist.

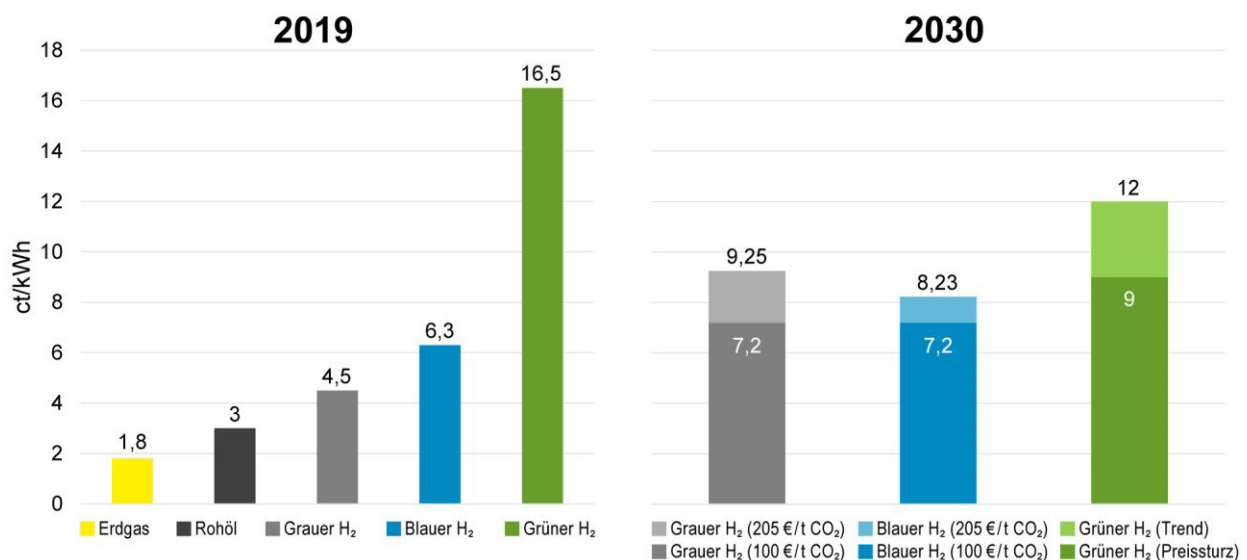


Abbildung 2: Kosten und Kostentrends der Produktion von Wasserstoff. Eigene Darstellung auf Basis von (Greenpeace Energy 2020) und eigene Berechnungen mit 205 €/t CO₂ in 2030 und CO₂-Emissionen von 5 t (blauer) und 10 t CO₂ (grauer) pro t H₂

Der **Erdgas**-Großhandelspreis für Jahresfutures lag zum Vergleich in den Jahren von 2016 bis 2019 bei durchschnittlich 1,8 ct/kWh (BDEW 2020). Der Preis für **Rohöl** belief sich im selben Zeitraum im Schnitt auf 3 ct/kWh (Statista 2020). Unabhängig von der Marktentwicklung führt ein **CO₂-Preis** von 100 €/t zu einer Erhöhung um ca. 2,4 ct/kWh bei Erdgas und um ca. 3,2 ct/kWh bei Erdöl. Mit einem CO₂-Preis von 200 €/t verdoppeln sich diese Werte.

2.3 Anwendungsgebiete für Wasserstoff

Wasserstoff dient als **Grundstoff** für industrielle Prozesse, kann jedoch auch **energetisch** eingesetzt werden. In der **Industrie** wird er hauptsächlich für die Weiterverarbeitung von Rohöl in Raffinerieprozessen und die Herstellung von Düngemitteln (Ammoniak) und Methanol verwendet. Zudem dient er als Grundstoff für Farben, Nylon sowie Kunstfasern und für die Polymerherstellung in der Kunststoffindustrie. In der Lebensmittelindustrie wird Wasserstoff zur Fetthärtung (Margarine) oder als Treib- und Packgas verwendet (UBA 2016). **Weitere Anwendungsgebiete** sind Glasherstellung (Schutzgas), Metallverarbeitung (Legierung) und Halbleiterindustrie (Reinigen, Beschichten, Ätzen). Selbst bei der Stromerzeugung in Kraftwerken wird das Gas zur Kühlung von Generatoren oder zum Schutz der Rohrleitungen vor Korrosionen eingesetzt. Auch bei der Stahlherstellung kann Wasserstoff zur Direktreduktion von Eisenerz zum Einsatz kommen (Shell 2017).

Neben den industriellen Anwendungsgebieten ist Wasserstoff auch **energetisch** vielfältig einsetzbar. Als **Sekundärenergieträger** und **chemischer Speicher** kann das Gas grundsätzlich in Wärmekraftmaschinen oder galvanischen Zellen in Strom und Wärme umgewandelt werden. Damit lassen sich Fahrzeuge, Flugzeuge und Schiffe antreiben, Gebäude mit Strom und Wärme versorgen oder bedarfsgerecht Strom in das Versorgungsnetz einspeisen. Auch industrielle Prozesswärme lässt sich mit Wasserstoff erzeugen. Alternativ kann Wasserstoff ebenso in bestehende Erdgasinfrastrukturen eingespeist oder sowohl zu flüssigen als auch gasförmigen synthetischen Kraftstoffen weiterverarbeitet werden.

In der **stofflichen Anwendung** ist grüner Wasserstoff zur Dekarbonisierung der Industrieprozesse nahezu alternativlos, da konventionell grauer Wasserstoff zum Einsatz kommt, welcher sukzessiv substituiert werden muss. Auch für die Erzeugung **industrieller Prozesswärme** mit einem bestimmten Temperaturniveau bzw. gleichmäßiger Temperaturverteilung bietet die direkte Stromnutzung oftmals keine Alternative. Somit ist nur eine Umstellung auf regenerative Brennstoffe möglich, was jedoch aufgrund der niedrigen Kosten für das fossile Pendant mit hohen wirtschaftlichen Hürden verbunden ist.

Im **Mobilitätssektor** gibt es ebenfalls Bereiche, welche sich nur schwer oder überhaupt nicht elektrifizieren lassen. Dazu zählen neben der Luft- und Schifffahrt auch der Schwerlast- und Fernverkehr. Allgemein lässt sich festhalten, dass überall da, wo viel Gewicht auf Straßen über lange Strecken transportiert werden muss, ein Wasserstoffantrieb einem batterieelektrischen Antrieb überlegen ist. Bei entsprechender Verfügbarkeit von Fahrzeugen und einer geeigneten Betankungsinfrastruktur bietet sich der Einsatz von wasserstoffbetriebenen Fahrzeugen (LKW, Busse) sukzessive im Logistikbereich und perspektivisch auch im ÖPNV an. Im Individualverkehr,

speziell beim PKW, dürften jedoch, insbesondere aufgrund des höheren Wirkungsgrades, auf absehbare Zeit überwiegend batteriebetriebene Fahrzeuge zum Einsatz kommen. Im Schienenverkehr kommen vor allem solche Strecken für Wasserstoff-Fahrzeuge in Betracht, bei denen keine leitungsgebundene Elektrifizierung machbar ist.

Bei der dezentralen **Gebäudewärmeversorgung** wird vermehrt auf Wärmepumpen, Solarthermie und biogene Brennstoffe gesetzt. Eine Versorgung von Home Fuel Cell Systemen oder Wasserstoffthermen wäre aufgrund fehlender Infrastrukturen noch vergleichsweise umständlich und mit hohen Kosten verbunden. Im urbanen Raum liegt der Fokus auf zentraler Wärmeerzeugung mit anschließender Verteilung über ein Wärmenetz. Neben der Verbrennung von Biomasse und dem Einsatz von Großwärmepumpen und Solarthermie-Anlagen kann auch die Einbindung ungenutzter Abwärmequellen zur Dekarbonisierung des Wärmesektors beitragen. Aufgrund der niedrigen Kosten kommen gegenwärtig oftmals noch erdgasbasierte KWK-Anlagen zum Einsatz, welche sich sukzessive auf die Verbrennung von Wasserstoff umstellen ließen. Aus diesem Grund ist es wichtig, bei Neuanlagen auf „H₂-Readiness“ zu achten.

Die Versorgung von Elektrolyseuren mit Stromüberschüssen zur **Energiespeicherung** wird bei der Umstellung des Energiesystems auf regenerative Erzeugungstechniken eine zentrale Bedeutung haben. Momentan spielt dieser Nutzungspfad jedoch aufgrund der vielen Umwandlungsschritte und der dadurch resultierenden geringen Effizienz bei gleichzeitig hohen Kosten keine große Rolle. Da mit Wasserstoff große Energiemengen über lange Zeit speicherbar sind, führt hingegen perspektivisch kein Weg daran vorbei.

Wasserstoff lässt sich ebenso mit bestimmten Konzentrationsgrenzen in das **Erdgasnetz einspeisen**. Somit lässt sich das fossile Gas grüner machen, ohne die komplette Infrastruktur umzustellen. Zwar ist diese Art der Anwendung vergleichsweise einfach und mit geringem Aufwand umzusetzen, allerdings ist es momentan aufgrund des niedrigen Erdgaspreises ökonomisch nicht vertretbar. Eine gesetzlich vorgeschriebene Mindestkonzentration könnte diese Hürde überwinden. Dafür sind, je nach Konzentrationsgrenze, Anpassungen der Infrastruktur und speziell der Endgeräte nötig. Zudem wird auch in Zukunft ein Bedarf an reinem Wasserstoff bzw. reinem Erdgas bestehen, weshalb laut der (BNetzA 2020) der Aufbau einer parallelen Infrastruktur aus teilweise umgewidmeten bzw. umgerüsteten Erdgasleitungen entstehen wird.

Tabelle 2 zeigt eine kurz- (5 bis 10 Jahre), mittel- (10 bis 20 Jahre) und langfristige (bis spätestens 2050) **Potentialabschätzung** der Nutzungspfade, welche vorrangig auf dem Ranking des (Fraunhofer IEE 2020) basiert.

Tabelle 2: Potentiale der H₂-Nutzungspfade

Nutzungspfad	kurzfristig	mittelfristig	langfristig
Stoffliche Anwendung	●	●	●
Prozesswärme	●	●	●
Schwerlast- / Fernverkehr / ÖPNV	●	●	●
Individualmobilität	●	●	●
Dezentrale Gebäudewärme	●	●	●
Zentrale Gebäudewärme	●	●	●
Energiespeicherung	●	●	●
Einspeisung	●	●	●

● hoch
 ● mittel
 ● niedrig

3 Forschungs- und Innovationslandschaft global bis regional

Die Rolle des Wasserstoffs in einem **globalen Markt** ist ein immer schneller wachsendes Feld, bestimmt durch die gegenwärtige Nachfrage nach CO₂-freien Alternativen zur Einhaltung der **internationalen Klimaziele**. Um eine Momentaufnahme zum Status der Wasserstoffwissenschaft zu erstellen, wird der aktuelle Stand der Innovations- und Forschungslandschaft anhand von Akteuren und gegenwärtigen Projekten analysiert.

3.1 Global

Die Einbindung des Energieträgers Wasserstoff in die Energiesysteme werden insbesondere Länder verfolgen, welche sich die Reduzierung von **Treibhausgasemissionen** zum Ziel gesetzt haben und am internationalen **Wasserstoffhandel** partizipieren möchten. Die jeweiligen Strategien der Staaten sind maßgebend dafür, welche Rolle die inländischen Unternehmen am Weltmarkt spielen werden.

Als **Wasserstoffpioniere** gehen neben Europa speziell Japan, China und die USA hervor, deren Aktivitäten und Schwerpunkte im Folgenden kurz beleuchtet werden.

Japan gilt mit seiner bereits im Jahr 2017 verabschiedeten „Basic Hydrogen Strategy“ als weltweiter Vorreiter. Da das Land 94 % seines Primärenergiebedarfs mit Importen deckt, und somit überwiegend auf Wasserstoffimporte angewiesen ist, nimmt es eine globale Sonderrolle ein. Im Pilotprojekt HESC soll die Belieferung mit flüssigem Wasserstoff über Transportschiffe aus Australien demonstriert und bis 2030 kommerzialisiert werden (umlaut 2020). Mit dem Fukushima Hydrogen Energy Research Field (FH2R), welches mit einer Leistung von 10 MW die weltweit größte Erzeugungsanlage für grünen Wasserstoff darstellt, sollen jedoch auch mehrere hundert Tonnen Wasserstoff im eigenen Land produziert werden (Toshiba ESS 2020). Durch das ENE-Farm-Programm konnte der Panasonic-Konzern bereits 300.000 Brennstoffzellen zur gekoppelten Strom- und Wärmeversorgung japanischer Haushalte verkaufen (ARD 2020). Mit der Herstellung von über 10.000 Brennstoffzellen-PKW des Modells Mirai hat sich der japanische Automobilhersteller Toyota zum Weltmarktführer entwickelt und auch bei Gabelstaplern, Bussen und Zügen wird in Zukunft verstärkt auf den Wasserstoffantrieb gesetzt (NDR 2019). Die Association of Hydrogen Supply and Utilization Technology (HySUT) und die New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO) sind zwei zentrale Institutionen zur Entwicklung und Etablierung von Wasserstofftechnologien im Land. (umlaut 2020)

In den **USA** ist hinsichtlich der Anzahl an zugelassenen Brennstoffzellen-PKWs der Bundesstaat Kalifornien internationaler Spitzenreiter. Von rund 8.000 Brennstoffzellen-PKWs im ganzen Land sind mehr als 6.000 Fahrzeuge allein in Kalifornien unterwegs. Ein „Credit-System“ soll mit einer Mindestmenge alternativer Antriebe die emissionsfreie Mobilität beflügeln (umlaut 2020). Um eine vollständige Emissionsreduktion zu erreichen, wie es in der „Road Map to a US Hydrogen Economy“ des (FCHEA 2020) beschlossen ist, liegt der Fokus in erster Linie auf dem Transport- und Verkehrswesen. Der amerikanische Hersteller Nikola hat mit seinen vorgestellten Wasserstoff-LKWs zuletzt für viel Aufsehen gesorgt, muss sich derzeit jedoch mit massiven Betrugsvorwürfen auseinandersetzen (FAZ 2020).

Infolge der Ziele des Zehn-Jahres-Plans „Made in **China** 2025“ wurden in der 2016 veröffentlichten Roadmap für Brennstoffzellen-PKWs die maßgeblichen Rahmenbedingungen für Wasserstoff in China vorgegeben. Der Fokus liegt hierbei zunächst auf der Entwicklung und Einführung von Bussen und Kleinlastwagen, die mit Wasserstoff angetrieben werden. Die Betankungsinfrastruktur ist dabei gezielt auf Ballungsräume konzentriert, wodurch kein ernst zu nehmendes flächendeckendes Tankstellennetz existiert (umlaut 2020).

3.2 Europäisch

Die im Juli 2020 vorgestellte Wasserstoffstrategie der EU befasst sich damit, wie neue Entwicklungen durch Investitionen, Regulierung, Schaffung von Märkten sowie Forschung und Innovation angeschoben werden können. Die Wasserstoffstrategie für ein klimaneutrales Europa benennt dafür auch drei zentrale Segmente für die weitere Förderung von Forschung und Innovation im Bereich der Wasserstofftechnologie:

- Auf der **Erzeugungsseite** bedarf es erstens der Umstellung auf größere, effizientere und kostenwirksamere Elektrolyseure im Gigawatt-Bereich, die zusammen mit den Kapazitäten für die Massenproduktion und neuen Werkstoffen Großverbraucher mit Wasserstoff versorgen.
- Zweitens muss die **Infrastruktur** weiterentwickelt werden, um Wasserstoff in großen Mengen und gegebenenfalls über große Distanzen verteilen, speichern und liefern zu können. Darüber hinaus bedarf es weiterer Forschungs-, Entwicklungs- und Innovationsmaßnahmen zur Frage der Umwidmung bestehender Gasinfrastrukturen für den Transport von Wasserstoff oder wasserstoffbasierten Brennstoffen.
- Drittens müssen großmaßstäbliche **Endnutzeranwendungen** weiterentwickelt werden, insbesondere in der Industrie (z. B. Wasserstoff als Ersatz für Koks- und Kohle bei der Stahlherstellung oder verstärkter Einsatz von erneuerbarem Wasserstoff in der chemischen und petrochemischen Industrie) und im Verkehr (z. B. Schwerlaststraßenverkehr, Schienenverkehr, Seeverkehr).

3.3 National

Mit der **Nationalen Wasserstoffstrategie** der Bundesregierung (BMWi 2020c) wurde am 10. Juni 2020 erstmals ein **bundesweites Aktionsprogramm** mit Maßnahmen für den **Aufbau einer grünen Wasserstoffwirtschaft** beschlossen. Neben dem daraus gebildeten Nationalen Wasserstoffrat ist speziell die Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NOW), welche im Auftrag des BMVI mehrere bundesweite Projekte steuert und unterstützt, essenziell bedeutsam für die Gesamtgestaltung Deutschlands als Wasserstoffnation auf Bundesebene. Eine weitere zentrale Organisation ist der Deutsche Wasserstoff- und Brennstoffzellen-Verband e. V., welcher sich selbst als „Lobby“ der Wasserstofftechnologie in Deutschland bezeichnet.

Für **Thüringer Forschungseinrichtungen** ergeben sich potentielle Vernetzungsmöglichkeiten insbesondere mit folgenden **Akteuren** rund um das Bundesland:

- Friedrich-Alexander-Universität (FAU) in Erlangen-Nürnberg (H₂-Mobilitätsforschung mit TU München im Rahmen der Bayerischen H₂-Strategie)
- Helmholtz-Institut für Erneuerbare Energien in Erlangen-Nürnberg (Erforschung und Entwicklung material- und prozessbasierter Lösungen für eine klimaneutrale, nachhaltige und kostengünstige Nutzbarmachung erneuerbarer Energien)
- Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW) und das Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (ISE) mit dem Projekt HyFAB in Baden-Württemberg (Entwicklung und Erprobung automatisierter Fertigungs- und Qualitätssicherungsverfahren für Brennstoffzellen-Stacks)
- HYPOS e. V. in Ostdeutschland, u. a. in Kooperation mit der Universität in Leipzig (H₂-Flex) und eigenständigen Projekten (Chemische Umwandlung, Transport, Speicherung, Verwertung und Vertrieb von Wasserstoff)
- Fraunhofer Hydrogen Laboratory Görlitz (HLG) Wasserstoff-Forschungszentrum von Siemens und der Fraunhofer-Gesellschaft in Sachsen
- FCP Fuel Cell Powertrain GmbH (FCP) in Chemnitz zur Erforschung und Fertigung moderner Brennstoffzellensysteme und elektrischer Antriebsstränge

Neben den genannten Forschungseinrichtungen und -verbänden gibt es auch in anderen Bundesländern noch eine Vielzahl an **Forschungsprojekten**. Von besonderem Interesse sind die „Reallabore der Energiewende“ des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi), bei denen CO₂-armer Wasserstoff ein zentrales Thema ist. Exemplarisch seien hierbei GreenHydroChem Mitteldeutsches Chemiedreieck und der Energiepark Bad Lauchstädt in Sachsen-Anhalt sowie das Referenzkraftwerk Lausitz in Brandenburg genannt.

Wichtige Impulse für den regionalen Strukturwandel generiert das vom BMBF geförderte Projekt „Wasserstoffquell- und Wertschöpfungsregion Main-Elbe-LINK (H₂-Well)“. Das Vorhaben wurde maßgeblich von Thüringer Akteuren angeschoben und vom TMWWDG unterstützt.

3.4 Regional

Thüringen besitzt eine **breit aufgestellte Forschungsinfrastruktur mit einzelnen thematischen Schwerpunkten**. Diese umfassen insbesondere auch Themenbereiche, in denen es traditionell ausgeprägte wirtschaftliche und wissenschaftliche Kompetenzen in der Region gibt, wie z. B. der Optik oder Keramiktechnologie. Zudem sind die Forschungsschwerpunkte, die von den Thüringer

Hochschulen und außeruniversitären und wirtschaftsnahen Forschungseinrichtungen getragen werden, vielfach standortspezifisch. Von **besonderer Relevanz** für die Entwicklung von Wasserstofftechnologien und -infrastrukturen sind hierbei unter anderem die folgenden **in Thüringen vorhandenen Forschungsbereiche**: Chemie/Photonik (Jena), Werkstoffe/Materialien (Hermisdorf, Jena), Elektrotechnik/Maschinenbau/Systemtechnik (Ilmenau), Sensorik (Ilmenau, Erfurt), Energietechnik (Nordhausen), Bauwesen/Infrastruktursysteme (Weimar). Ein spezifischer Schwerpunktbereich oder Standort zur Forschung im Bereich Wasserstofftechnologien existiert bisher nicht. Orientiert an vorhandenen Potentialen plant die Thüringer Landesregierung daher zwei strukturbildende FuE-Investitionen:

- Ausbau des **Forschungscampus „Erfurter Kreuz“** zum Anwendungszentrum für Wasserstoff-Technologien/Stack-Entwicklung: Für alle gängigen Elektrolyseverfahren soll in Thüringen ein Zentrum für den Aufbau und die Demonstration großserientauglicher Elektrolyse-Stacks entstehen. Das H₂-Zentrum soll als Inkubationskeim für die Ansiedlung einer entsprechenden Zulieferindustrie dienen und frühzeitig lokal ansässige Firmen einbinden.
- Aufbau eines Innovationsnetzwerks und **Instituts für Angewandte Wasserstoffforschung** sowie von Pilotanlagen (HySON, Sonneberg): Mit Blick auf einen zügigen Markthochlauf von Wasserstofftechnologien soll eine industrienahе Forschungsinfrastruktur in Thüringen entwickelt werden, um die Lücke zwischen Forschung und Anwendung zu schließen. Die bislang meist als Prototypen im Einsatz befindlichen Aggregate sollen über eine Kleinserie in die Serienfertigung und Anwendung überführt werden. Weitere geplante Tätigkeitsschwerpunkte sind anwendungsorientierte Forschungsprojekte und die Entwicklung industrienaher, technologie-orientierter Einsatzmöglichkeiten.

Die genannten Vorhaben koppeln an zwei der drei von der EU-Kommission beschriebenen Forschungsschwerpunkte an und besitzen damit herausragendes Entwicklungspotential. Es ist geplant, **Mittel zur Umsetzung** im Rahmen des 2020 vom Thüringer Landtag beschlossenen **Maßnahmenpakets Innovationspotentiale** bereitzustellen.

Um neben den beiden Strukturmaßnahmen auch Entwicklungsprojekte im dritten zentralen Forschungssegment (Weiterentwicklung Infrastruktur) und den in der EU-Strategie ebenfalls als bedeutsam angesehenen Querschnittsfeldern (siehe 3.2) zu ermöglichen, sind **zusätzliche Mittel** notwendig. Diese könnten – vorbehaltlich der noch ausstehenden abschließenden Entscheidungen – aus Nachträgen für **EU-Strukturfondhilfen** (REACT) finanziert und im Rahmen der bestehenden Projektförderung des TMWWDG ausgereicht werden.

Fazit für den Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft: Die bestehende **Forschungsinfrastruktur in Thüringen** und ihre geplante Weiterentwicklung bietet **Anknüpfungspunkte** für die Entwicklung von Komponenten der Wasserstoffwirtschaft und deren Umsetzung in Pilotanlagen und -systemen. Bei einer **Vernetzung** der Einrichtungen innerhalb Thüringens und der strategischen Kooperation externer Partner lassen sich **Synergien** in der Wasserstofftechnologieforschung erzielen.

4 Struktur der Thüringer Wirtschaft

Die Wirtschaftsstruktur in Thüringen ist von den folgenden **Besonderheiten** geprägt:

In vielen Landkreisen ist der **Anteil des produzierenden Gewerbes an der Bruttowertschöpfung vergleichsweise hoch**. Während der Anteil im Bundesdurchschnitt gesehen etwas über 30 % liegt, sind, wie Abbildung 3 verdeutlicht, in 9 von 17 Thüringer Landkreisen sowie in Eisenach Werte von über 40 % zu verzeichnen (DESTATIS 2019). Dies unterstreicht die Bedeutung des sekundären Sektors für das Land.

KMU spielen eine deutlich größere Rolle für die regionale Wirtschaft als im Bundesdurchschnitt. Während in Thüringen 62 % aller Beschäftigten im verarbeitenden Gewerbe in KMU arbeiten, sind dies, entsprechend Abbildung 4, deutschlandweit lediglich knapp 43 % (DESTATIS 2019).

Viele Unternehmen in Thüringen arbeiten als **Zulieferer für Großunternehmen, als Entwicklungsdienstleister** oder aber als **Produzenten von Nischen- und/oder Sonderprodukten** (Helaba 2011). Dies gilt insbesondere auch für die regional wichtigen Wirtschaftszweige des Maschinenbaus, der Herstellung von Metallerzeugnissen, dem Automotive-Bereich sowie der Elektrobranche mit der Steuerungs- und Regelungstechnik/Sensorik.

Der **tertiäre Sektor wird stark von öffentlichen, gesellschaftlichen und sozialen Dienstleistungen geprägt** mit einem, wie Abbildung 5 zeigt, im Bundesvergleich gesehen unterdurchschnittlichen Anteil von wirtschaftlich ausgerichteten Dienstleistungen.

**Bruttowertschöpfung
produzierendes
Gewerbe [%]**

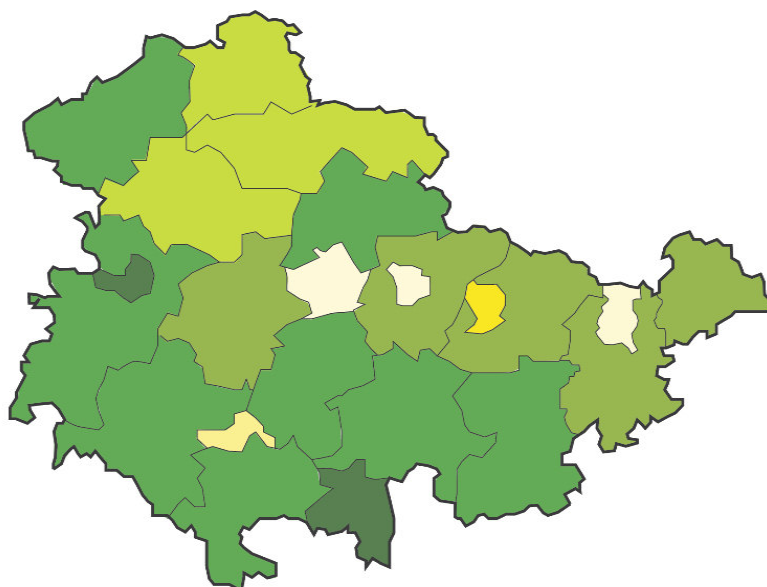
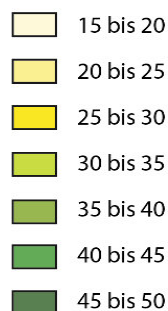


Abbildung 3: Anteil des produzierenden Gewerbes (sekundären Sektors) an der Bruttowertschöpfung 2016 nach Landkreisen/kreisfreien Städten in Thüringen, Datenquelle: (DESTATIS 2019)

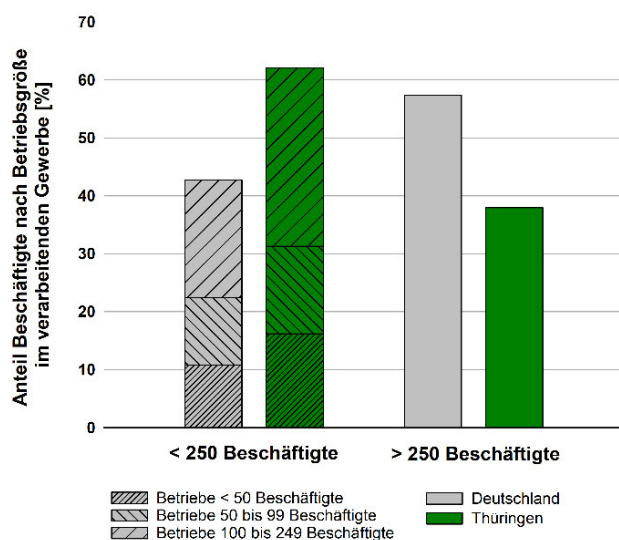


Abbildung 4: Anteil der Beschäftigten im verarbeitenden Gewerbe nach Betriebsgröße in Deutschland und Thüringen September 2017, Datenquelle: (DESTATIS 2019).

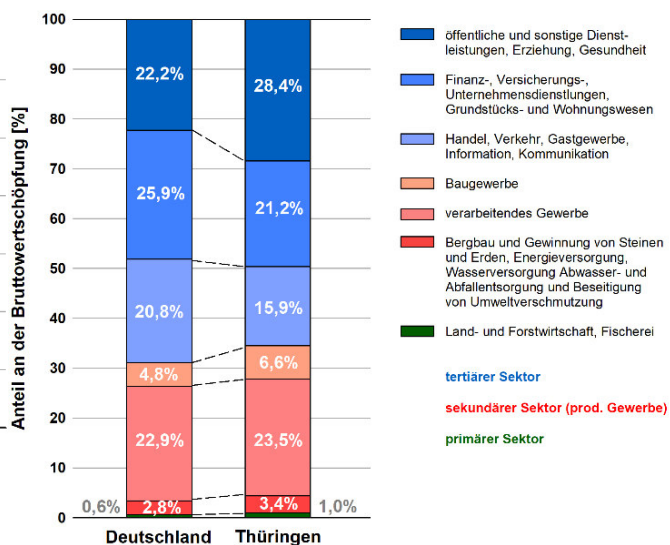


Abbildung 5: Anteil der verschiedenen Wirtschaftszweige an der Bruttowertschöpfung in Deutschland und Thüringen 2016, Datenquelle: (DESTATIS 2019)

Fazit für den Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft: Das produzierende Gewerbe, vor allem seine klein und mittelständisch geprägte Struktur, können als **Anbieter** von Produkten und produktionsnahen Dienstleistungen in den verschiedenen Zulieferketten arbeiten, haben Erfahrungen im schnellen und flexiblen Reagieren auf Herausforderungen und Veränderungen. Sie können sich auf neue Marktsegmente einstellen und die überregional bestehende Nachfrage nach

Anlagen, Komponenten und technischen Dienstleistungen bedienen. Ihre im Durchschnitt kostengünstigen Strukturen und vergleichsweise direkten, kurzen Entscheidungswege können für die Umsetzung von Innovationen wie der Wasserstofftechnologie von Vorteil sein.

Für wasserstoffbasierte **Anwendungen** ist das Vorhandensein größerer Unternehmensstandorte als interessierte (Groß-)Abnehmer von produziertem Wasserstoff grundsätzlich von Vorteil. Thüringen verfügt über diverse Standorte von grundstoffproduzierenden Unternehmen, für die Wasserstoff zur Umstellung ihrer Produktionsprozesse zunächst infrage käme. Zu diesen energieintensiven Industrien zählen die Branchen Chemie, Stahl, Nichteisenmetall, Papier, Glas, Keramik und Baustoffe, die im Regelfall einen hohen Bedarf an technischer Hochtemperatur-Prozesswärme haben, der heute über fossile Energieträger gedeckt wird. Wirtschaftlich tragfähige Geschäftsmodelle hängen aber stark davon ab, dass nicht nur der produzierte Wasserstoff, sondern auch die Kuppelprodukte vermarktet werden können. In einer klein- und mittelständisch geprägten Wirtschaft besteht die Herausforderung daher darin, geeignete Standorte in Thüringen zu identifizieren, an denen mehrere Unternehmen gemeinsam Wasserstoff nutzen wollen. Dabei müssen neben den Unternehmen der Wirtschaft auch kommunale Aufgabenträger für die sektorenübergreifende Wasserstoff-Nutzung einbezogen werden.

Durch die hohe regionale Konzentration von Unternehmen der **Keramik- und Glasbranche** existiert im produzierenden KMU-Umfeld eine für Thüringen im bundesdeutschen Umfeld **herausragende Chance**. Auf der Anwenderseite ließen sich die bereits erwähnten hohen Wärmebedarfe für z. B. Schmelz- und Sinterprozesse in Öfen und Wärmebehandlungsanlagen mit Wasserstoff decken. Gleichzeitig verfügt Thüringen auf der Anbieterseite auch über Firmen, die diese Öfen herstellen, unter anderem für Spezialbranchen wie die Batterieherstellung. Hier ergibt sich demnach ein großer Hebel für eine punktuell starke **Dekarbonisierung** technischer Prozesse mit hohem **Wertschöpfungs- und Exportpotential**.

Die Unternehmen werden **Unterstützung** bei der Identifizierung unternehmensinterner Potentiale und Mehrwerte bis hin zur Beantragung von Fördermitteln für Wasserstoffanwendungen erhalten. Hierzu ist die **Thüringer Energie- und GreenTech-Agentur** (ThEGA) beauftragt, Unternehmen bei der projektbezogenen **Fördermittelakquise** auf Bundes- und EU-Ebene sowie der **Vernetzung** zu beraten und zu unterstützen. Aufgrund der **fehlenden Großindustrie** wird speziell die **Adressierung von Nischenmärkten** der Schlüssel zur Stärkung der heimischen Wasserstoffwirtschaft sein. Dies erfordert darüber hinaus neue technische und wissenschaftliche Dienstleistungen, was in der Folge auch zur Stärkung und zum **Ausbau des tertiären Sektors** beitragen und die **Attraktivität der Region** erhöhen kann.

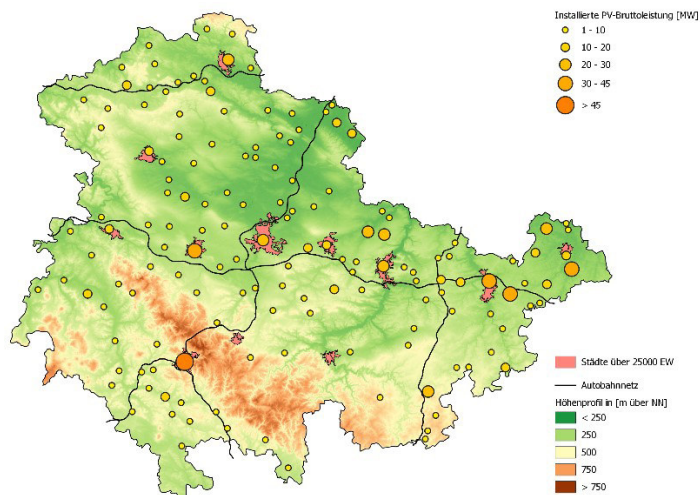
5 Technische Infrastrukturen in Thüringen

Die Umsetzung einer grünen Wasserstoffwirtschaft erlaubt die **regionale Sektorenintegration über verschiedene Infrastrukturbereiche**. Die Grundlage bildet hierbei die **Elektrizitätswirtschaft** mit der Wasserstofferzeugung über Wasserelektrolyse aus erneuerbaren Energiequellen sowie gegebenenfalls der Wasserstoffrückverstromung. Weitere Verknüpfungen bestehen zur **Gaswirtschaft** in der Verteilung und Speicherung von Wasserstoff, dem **Verkehrswesen** in der straßen- und schienengebundenen Wasserstoffmobilität, der **Wärmebereitstellung** sowie ggf. der **Abwasserwirtschaft** als Abnehmer von Elektrolysesauerstoff. Die Bestandssituation in Thüringen stellt sich wie folgt dar:

Elektrizitätswirtschaft: Thüringen besitzt mit den Gaskraftwerken in Erfurt, Jena und Gera sowie den thermischen Verwertungsanlagen für Restabfall in Erfurt und Suhl/ Zella-Mehlis und Industrieabfällen in Schwarza (Rudolstadt) im Ländervergleich gesehen **nur geringe große thermische Kraftwerkskapazitäten** auf Basis von fossilen Energieträgern, beziehungsweise Reststoffen. Weiterhin wird Thüringen von wichtigen Ost-West und Nord-Süd Transitleitungen im Höchstspannungsnetz durchquert und besitzt mit den Pumpspeicherwerken Goldisthal, Hohenwarte I & II und der Bleichlochtsperre vier große netzdienliche Elektrizitätsspeicher mit einer Gesamtkapazität von 12,1 GWh (Schmid et al. 2011). Wie Tabelle 3 verdeutlicht, sind **Erneuerbare-Energien-Anlagen dezentral über Thüringen verteilt**, bei Windkraftanlagen allerdings mit einem regionalen Schwerpunkt nördlich der A4.

Tabelle 3: Windkraftanlagen, große Photovoltaikanlagen und landwirtschaftliche Biogasanlagen in Thüringen.

Lage und installierte Leistung Erneuerbarer-Energie-Anlagen	Gesamtleistung, Ausscheiden aus EEG
	Windkraftanlagen <i>Stichtag: 31.12.2017</i> <i>Installierte Gesamtleistung: 1,5 GW</i> <i>Installierte Leistung, die von 2021 bis 2026 zum jeweiligen 01.01. aus den Regelungen des EEG ausscheidet:</i> • 2021 – 140,4 MW • 2022 – 45,7 MW • 2023 – 56,5 MW • 2024 – 136,3 MW • 2025 – 69,6 MW • 2026 – 13,0 MW <i>Datenbasis: (TLVwA 2018)</i>



Photovoltaikanlagen / -parks > 1 MW *1

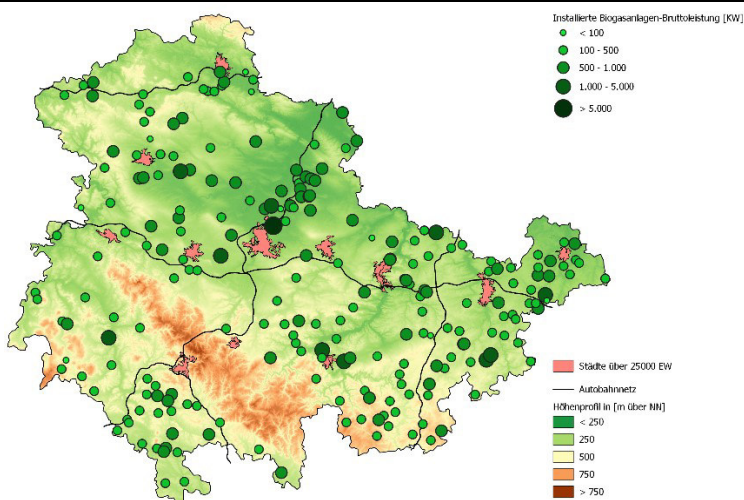
Stichtag: 31.12.2017

Installierte Gesamtleistung: 1,3 GW

Installierte Leistung, die von 2021 bis 2026 zum jeweiligen 01.01. aus den Regelungen des EEG ausscheidet:

- 2021 – 0,0 MW
- 2022 – 0,0 MW
- 2023 – 0,0 MW
- 2024 – 0,0 MW
- 2025 – 0,0 MW
- 2026 – 2,4 MW

Datenbasis: (BNetzA 2019)



Landwirtschaftliche Biogasanlagen

Stichtag: 01.05.2015 *2

Installierte Gesamtleistung: 106 MW

Installierte Leistung, die von 2021 bis 2026 zum jeweiligen 01.01. aus den Regelungen des EEG ausscheidet:

- 2021 – 2,2 MW
- 2022 – 3,1 MW
- 2023 – 3,5 MW
- 2024 – 3,0 MW
- 2025 – 1,9 MW
- 2026 – 12,4 MW

Datenbasis: (TLLLR 2015)

*1 Darstellung zusammengefasst pro Gemeinde auf Basis von PV-Anlagen > 1 MW / Die Datenpunkte entsprechen keinen Einzelanlagen.

*2 Seit Mitte 2015 ist kein nennenswerter Zubau an landwirtschaftlichen Biogasanlagen in Thüringen erfolgt.

In Anbetracht der Herausforderungen der Zukunft muss Thüringen den **Ausbau der erneuerbaren Energien** stärker vorantreiben: Beim Pariser Klimagipfel 2015 wurde beschlossen, die globale Erwärmung auf 1,5 °C zu begrenzen, um die Folgen des Klimawandels in einem vertretbaren Ausmaß zu halten. Faktisch ist dazu eine Reduktion der energiebedingten Treibhausgasemissionen bis 2040 auf null notwendig. Vor dem Hintergrund der hierzu erforderlichen Anstrengungen ist das im **Thüringer Klimagesetz** verankerte Ziel der Landesregierung zu sehen, dass sich das Land Thüringen bis 2040 bilanziell selbst auf der Grundlage erneuerbarer Energien versorgen soll, womit Thüringen **bundesweit Maßstäbe** setzt.

Im Zuge einer dem Klimaschutz verpflichteten Energieversorgung der Zukunft wird im Rahmen der **Sektorenkopplung** der Energiebedarf in den Sektoren Wärme sowie Transport und Verkehr künftig auch durch Strom aus Erneuerbaren-Energien-Anlagen gedeckt werden müssen. In beiden Sektoren kann, neben anderen Technologien, vor allem **grüner Wasserstoff** als gasförmiger Energieträger,

der durch erneuerbaren Strom hergestellt wird, eine wichtige Rolle spielen. Bereits jetzt ist sicher, dass der Bedarf an erneuerbarem Strom in den kommenden Jahren weltweit signifikant ansteigen wird.

Auch in Thüringen kann nur die konsequente **Ausschöpfung der erneuerbaren Stromerzeugungspotentiale** Grundlage der Sektorenkopplung und einer grünen Wasserstoffwirtschaft sein. Angesichts des derzeitig noch immer geringen Anteils der erneuerbaren Energien am Primärenergieverbrauch im Land muss der **Ausbau** der erneuerbaren Energien in Thüringen daher **beschleunigt** werden. Eine besondere Herausforderung hierbei ist, dass in Thüringen in den nächsten Jahren immer mehr Erzeugungsanlagen für erneuerbare Energien altersbedingt nach 20 Jahren **aus der EEG-Förderung fallen** werden und womöglich auch teilweise nicht weiter betrieben werden können. Für diese Anlagen sind dringendst Perspektiven für den **Weiterbetrieb** zu entwickeln oder Maßnahmen für **Ersatz-Neubauten** (Repowering) zu schaffen. **Initiativen**, wie die Prüfung landesrechtlicher Regelungen (z. B. Priorisierung des Baus von EE-Anlagen, die dediziert zur Wasserstoffgewinnung gebaut werden, kommunale Windräder, industrielle Betriebsstätten-Anlagen), eine Solarpflicht für Neubauten, eine Repowering-Strategie für Windkraft-Anlagen, Nutzung aller Solar-, Wasserkraft-, Geothermie- und Biomassepotentiale, Reform und Standardisierung von Genehmigungsverfahren für Erneuerbare-Energien-Anlagen usw., sind für die **Konkurrenzfähigkeit** Thüringens im bundesweiten, europäischen und globalen Wettstreit um die ökonomische Teilhabe einer kommenden Wasserstoffwirtschaft **wichtige Instrumente**.

Gaswirtschaft: Thüringen wird von zwei wichtigen Ost-West Transitleitungen für Erdgas durchquert und **besitzt erschlossene Erdgasspeicher** in Allmenhausen und Kirchheilingen, die als Porenspeicher durchaus für eine Speicherung auch von Wasserstoff geeignet sind. Grundsätzlich eignen sich diese Speicher besser **für die Speicherung von synthetisch aus Wasserstoff hergestelltem Methan**.

Verkehrswesen: Thüringen besitzt mit den Bundesautobahnen 4, 9, 38, 71 und 73 **sehr gut ausgebaute Ost-West und Nord-Süd-Verbindungen** und ist aufgrund seiner zentralen Lage in Deutschland ein **wichtiger Logistikstandort**. Zudem werden in Thüringen große Teile des regionalen Schienenverkehrs mit Dieselfahrzeugen abgedeckt, da **weniger als ein Drittel des Schienennetzes** von etwa 1.700 km **elektrifiziert** ist (NOW 2016). Der Anteil des Verkehrssektors an den Gesamtemissionen in CO₂-Äquivalenten lag hierbei im Jahr 2014 in Thüringen mit 23 % über dem Bundesdurchschnitt von 21 % (Ebert M. et al. 2016); (UBA 2019b). Auch wenn nach dem Bundesländerindex Mobilität & Klimaschutz 2020-2021 Thüringen als einziges Bundesland die CO₂-Emissionen im Verkehr leicht senken konnte, sind auch zukünftig weitere Anstrengungen zur Erreichung der Klimaziele notwendig.

Wärmebereitstellung: Die Wärmebereitstellung in Thüringer Haushalten erfolgt derzeit **im Wesentlichen über Erdgas**, gefolgt von Biomasse, Heizöl und Fernwärme (Ebert M. et al. 2016), wobei Letztere vorwiegend aus Erdgas gewonnen wird. Die Gasversorgung erfolgt meist leitungsgebunden, wobei auch die Industrie (Prozesswärme) und der tertiäre Sektor große Abnehmer darstellen.

Abwasserwirtschaft: Ende 2018 hatte Thüringen 555 kommunale Kläranlagen mit einer Abwasserbehandlungskapazität von ca. 3,42 Mio. Einwohnerwerten für kommunale und industrielle bzw. gewerbliche Abwässer. Der Anschlussgrad der Bevölkerung an kommunale Kläranlagen, die **in Abhängigkeit von der Einwohnerzahl über Thüringen verteilt** sind, lag bei etwa 80 %, wobei rund 82 % der kommunal entsorgten Abwässer in den 52 kommunalen Kläranlagen mit Behandlungskapazitäten größer 10.000 Einwohnerwerten behandelt wurden (TMUEN 2019).

Fazit für den Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft: Die Voraussetzungen für den Aufbau dezentraler Strukturen für die Erzeugung von Wasserstoff im Zusammenhang mit Erneuerbaren-Energie-Anlagen sind günstig, wenn (förder-) technische Restlaufzeiten oder post EEG-Optionen für bestehende Anlagen genutzt werden können. Soll die regenerative Wasserstoffwirtschaft flächendeckend in Thüringen zum Tragen kommen, ist eine **Intensivierung des Ausbaus** von Erzeugungskapazitäten für **erneuerbare Energien** unausweichlich. Die schon jetzt vorhandene dezentrale Verteilung von Erzeugerkapazitäten für erneuerbare Energien in Thüringen liefert Ansätze für den Aufbau von **dezentralen Elektrolyseanlagen** zur lokalen Wasserstofferzeugung für **industrielle Bedarfe**, für den Einsatz im **Energiesektor** (z. B. Stromspeicherung, Wärmeversorgung/Abwärmenutzung der Elektrolyseure, netzdienliche Anwendungen) oder für **Mobilitätsanwendungen** (z. B. in der Logistik und Kommunalwirtschaft sowie dem ÖPNV und Individualverkehr). Für den bei der Elektrolyse entstehenden **Sauerstoff** ergeben sich **Einsatzmöglichkeiten** bei der Abwasserreinigung oder der Ozonherstellung für die Reinigung von Mikroschadstoffen. Aus wirtschaftlichen Gründen sollten hier zusätzliche Anwendungsbereiche ausschließlich mit hohem Wertschöpfungspotential gesucht werden.

6 Bestandsaufnahme der Thüringer Wasserstoffaktivitäten

Die aufgeführten **Akteure und Aktivitäten** dieses Kapitels sind der **gutachterlichen Betrachtung** „Wasserstoff in Thüringen - Ausgangslage, Potentiale und Handlungsoptionen“ (ThEGA 2019) entnommen und wurden durch die Ergebnisse einer im September 2020 von der Thüringer Energie- und GreenTech-Agentur GmbH (ThEGA) und dem Thüringer ClusterManagement (ThCM) der Landesentwicklungsgesellschaft Thüringen (LEG) durchgeführten **Umfrage** und weiterer **Recherchen** ergänzt. Eine kontinuierliche Nacherfassung wird durchgeführt und es besteht kein Anspruch auf Vollständigkeit.

6.1 Hersteller von Komponenten und Technologien für Wasserstoffanwendungen

Firmen, die direkt **Komponenten und Technologien** für Wasserstoffanwendungen herstellen, konzentrieren sich in Thüringen derzeit auf einige technologische Ansätze und sind räumlich in Nordhausen, im Landkreis Sonneberg, um Ilmenau und um Eisenach, in Hermsdorf, in Jena und in Erfurt angesiedelt. Sie stammen aus den Branchen Maschinen- und Anlagenbau, Messtechnik und Prozessautomatisierung sowie der Automobilzulieferindustrie. Diese Unternehmen werden im Folgenden nach **Standort** sortiert mit ihrer **Branche** und ihren **Kompetenzen** im Bereich der Wasserstofftechnologien aufgeführt:

Nordhausen:

MAXIMATOR GmbH (Nordhausen, Maschinen- und Anlagenbau): Wasserstofftankstellen, Wasserstoffverdichter MAX Compression mit automatischem Dichtungswechsel (Automated Seal Exchange), Hochdruckkompressoren für Wasserstoff bis 2.400 bar, Hydraulische Nachverdichter für Wasserstoff, Hochdruckprüftechnik für Wasserstoffkomponenten, Gasregel- und Verbindungstechnik für Wasserstoffanwendungen

SOKRATHERM GmbH (Nordhausen, Hersteller von Blockheizkraftwerken): Entwicklung eines Wasserstoff-BHKW zur Strom- und Wärmeerzeugung aus Wasserstoff

Sonneberg:

AVX/KUMATEC Hydrogen GmbH & Co. KG (Neuhaus-Schierschnitz, Maschinen- und Anlagenbau): alkalische Druckelektrolyse bis 100 bar, PEM-Druckelektrolyse, Systemkomponenten für die Druckelektrolyse (Füllstandsmesssystem, Servoventiltechnik, kaskadierte Wasserstoffreinigung), Systemanbieter von Wasserstofftechnologien

FCT Anlagenbau GmbH (Sonneberg, Maschinen- und Anlagenbau): Vakuum-Druck-Sinteranlage mit Glove-Box bis 10 bar und Wasserstoff als Arbeitsgas

MANN+HUMMEL GmbH (Sonneberg, Automobilzulieferindustrie/Filtration): Kathodenluftfilter für Brennstoffzellen, Kühlmittelfilter für Brennstoffzellen

Ilmenau:

isle Steuerungstechnik und Leistungselektronik GmbH (Ilmenau, Leistungselektronik, Steuerungs-/Regelungs-/Messtechnik): DC-DC-Konverter für Brennstoffzellen und zur Stromversorgung von Elektrolyseuren, Stromrichter für Elektrolyseure und die Rückverstromung von Wasserstoff, Batterieladetechnik, Mess-, Steuerungs- und Regelungstechnik für den Betrieb von Brennstoffzellen, Elektrolyseuren und Systemen, Visualisierungssoftware

UST Umweltsensortechnik GmbH (Geschwenda, Messtechnik und Prozessautomatisierung): Gasspürgeräte und keramische Sensorsysteme zur Detektion und Messung von Wasserstoff

Eisenach:

ruhlat GmbH (Gerstungen, Sondermaschinenbau): Entwicklung und Fertigung von Montage- und Produktionsanlagen für Brennstoffzellen, elektrische Antriebe und Elektrolyseure

Hermisdorf:

Siegert Thinfilm Technology GmbH (Hermisdorf, Messtechnik und Prozessautomatisierung): Drucksensoren für Wasserstoff

TRIDELTA Thermprozess GmbH (Hermisdorf, Maschinen- und Anlagenbau): wasserstoffbetriebene Wärmebehandlungsanlagen (thermischer Apparatebau)

Jena:

IVOC-X GmbH (Jena, Maschinenbau Lufttechnik): Herstellung katalytischer Oxidationsmodule als Sicherheitstechnik zur thermischen Verwertung von Wasserstoff, Systeme und Komponenten für die wasserstoffbasierte Wärmeerzeugung und Wärmespeicherung, Luftanalysesysteme für Wasserstoff, Forschung an der Herstellung von Materialien zur Wasserstofferzeugung

Erfurt:

MUW Screentec GmbH (Erfurt, Maschinen- und Anlagenbau): Entwicklung und Herstellung von keramischen Membranreaktoren für Power-to-X Technologien

Neben Herstellern oder Zulieferern, die direkt Produkte für Wasserstoffanwendungen herstellen, gibt es in Thüringen weitere Unternehmen, deren Produkte für Wasserstoffapplikationen genutzt werden können. In der Maschinen- und Anlagenbau-Branche ist die **eurocylinder systems AG** aus **Apolda** zu nennen, die als Hersteller von Hochdruckstahlflaschen Erfahrungen in der Speicherung von Wasserstoff bei hohen Drücken besitzt. In Apolda befindet sich weiterhin eine Produktionsstätte der **Gebr. Becker GmbH**, die Drehschieberpumpen und Seitenkanalverdichter fertigt, die unter anderem auch zur Luftversorgung von Brennstoffzellensystemen zum Einsatz kommen. Im Bereich der Messtechnik und Prozessautomatisierung ist die **IMG Electronic & Power Systems GmbH** aus **Nordhausen** anzuführen, die Elektronikbaugruppen für sicherheitsbezogene Systeme entwickelt und fertigt, deren Ausfall mit erheblichen Risiken für Mensch, Ausrüstung oder Umwelt verbunden ist, was bei Wasserstoffsystemen der Fall sein kann.

Darüber hinaus gibt es Unternehmen im Sonderfahrzeugbau mit Produktionsstätten in Thüringen, die im Bereich Elektrifizierung des Antriebsstrangs Neuentwicklungen vorantreiben. So entwickelt und fertigt die **FRAMO GmbH** in **Löbichau** elektrische LKWs für die Kommunalwirtschaft, die Warenverteilung und die Bauwirtschaft in den Größenklassen von 7,5 bis 44 t, während die **HAKO GmbH** in **Waltershausen** an der Entwicklung von elektrifizierten Spezialfahrzeugen auf Basis des Produkts Multicar arbeitet. Weiterhin erwägt die **Horten Aircraft GmbH** in **Hörselberg-Hainich** eine Nutzung von Wasserstoff-Brennstoffzellen für Leichtflugzeuge. Daneben gibt es auch in der Automobilzulieferindustrie Hersteller von Komponenten für elektrisch betriebene Fahrzeuge, die in Thüringen Produktionsstätten unterhalten, wie zum Beispiel die **BorgWarner Transmission Systems Arnstadt GmbH**, die unter anderem Fahrzeuggetriebe für Elektro- und Hybridfahrzeuge herstellt. Da die **Elektrifizierung des Antriebsstrangs auch Grundlage für Wasserstoff-Brennstoffzellenfahrzeuge** ist, sind bei einem Markthochlauf von Brennstoffzellenfahrzeugen folglich grundlegende Kompetenzen in Thüringen bereits vorhanden.

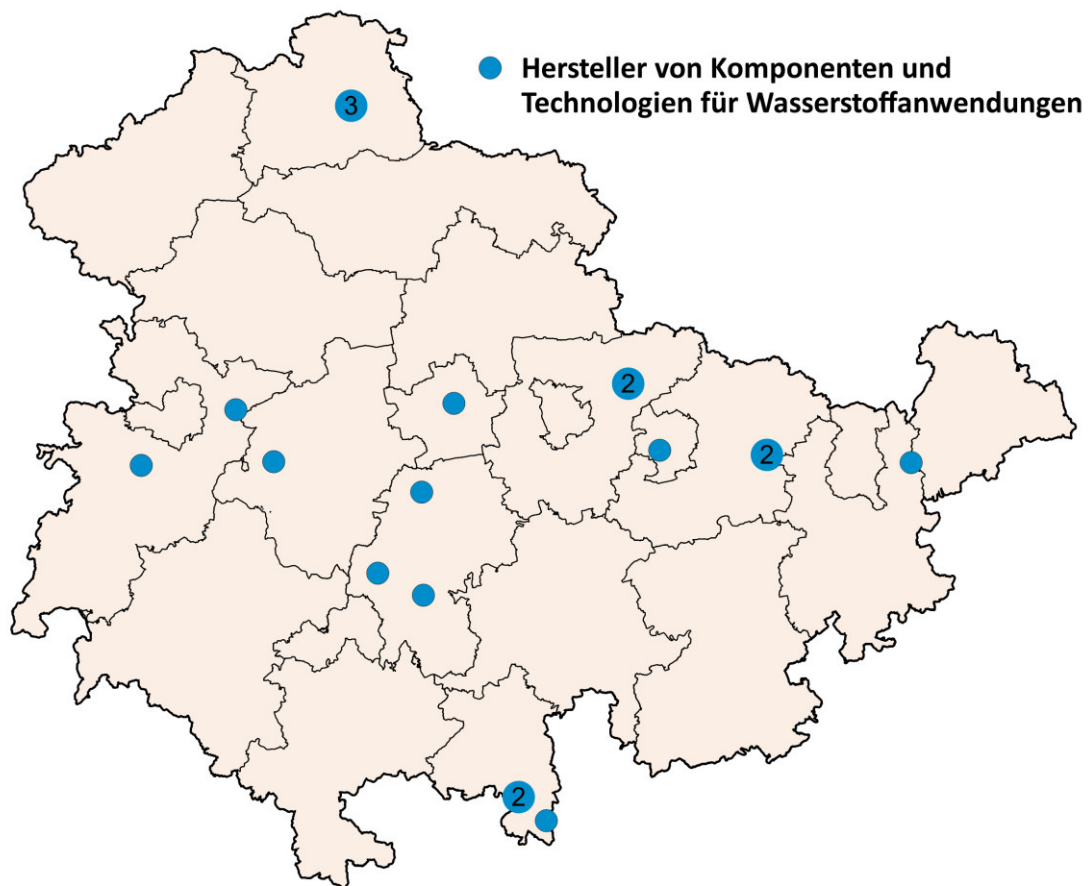


Abbildung 6: Hersteller von Komponenten und Technologien für Wasserstoffanwendungen (z. T. aggregiert)

6.2 Dienstleister für Wasserstoffanwendungen

Bisher gibt es in Thüringen folgende Dienstleister, die sich mit Wasserstoffthemen befassen:

GMR Gross-Mess-Regeltechnik (Zella-Mehlis, Ingenieurbüro Mess- und Regeltechnik): Vertrieb, Anpassung, Anwendungsintegration von elektronischen und mechanischen Sensoren zur Durchfluss-, Druck- und Temperaturüberwachung von Wasserstoff

GESO GmbH & Co. Projekt KG: (Jena, Ingenieurbüro Sensorik): Dienstleister für Glasfaser Sensorik zur Messung im Betrieb von Kavernen und Pipelines, Vorbereitung eines Monitoring-Konzepts für einen technischen Großversuch der Speicherung von Wasserstoff in Salz- und Fels-Kavernen, Sensorentwicklung und Erprobung für H₂-Anwendungen

Gesteinslabor Dr. Eberhard Jahns (Heiligenstadt, Labordienstleistungen für Bergbau, tiefe Geothermie, Undergroundgasspeicher, Endlagerung): Entwicklung von experimenteller Methodik zur Sicherheitsbegutachtung der Untergrundspeicherung von Wasserstoff und experimentelle Bewertung von Untergrundspeichern für Wasserstoff bei zyklischer Belastung

Ilmenauer Mechatronik GmbH (Ilmenau, Antriebsentwicklung, Mess- und Regelungstechnik): Entwicklung mechatronischer Antriebslösungen zum Einsatz von Wasserstoff in Verbrennungsmotoren, Erstellung von Algorithmen zur Druckregelung in Brennstoffzellen, sensorlose Funktions- und Zustandsüberwachung von Wasserstoffventilen

EPC Engineering & Technologies GmbH (Arnstadt, Anlagenbau und Ingenieurdienstleistungen): Konzeptionierung, Entwicklung und geplante Fertigung von containerisierten H₂-Produktionsanlagen, wissenschaftliche Dienstleistungen, Standortbetrachtung, Anlagenplanung, Technologieimplementierung

Der **TÜV Thüringen** mit Hauptsitz in **Erfurt** verfügt zusammen mit seiner Tochtergesellschaft TÜV Thüringen Schweiz AG über umfangreiche Erfahrungen zur Anlagensicherheit von Wasserstoffsystemen und Druckgeräten, im Explosions- und Brandschutz sowie in der Abnahme und Prüfung von mit Wasserstoff betriebenen Anlagen. Als Dienstleister erstellt das **EnviroConsult IngenieurBüro Dr. Lux e. K.** aus **Erfurt** Störfallkonzepte, Sicherheitspläne und die notwendigen Explosionsschutzdokumente für die Betriebssicherheit von Wasserstoffanlagen. Weiterhin werden die vollständige Antragstellung und das Behördenmanagement für die Genehmigung von Anlagen nach Bundes-Immissionsschutzgesetz übernommen. Die **adapt engineering GmbH & Co. KG** aus **Nordhausen** ist als Dienstleister für die Prüfung und Entwicklung von Motoren und deren Komponenten in der Entwicklung und Prüfstanduntersuchung von Wasserstoffmotoren tätig.

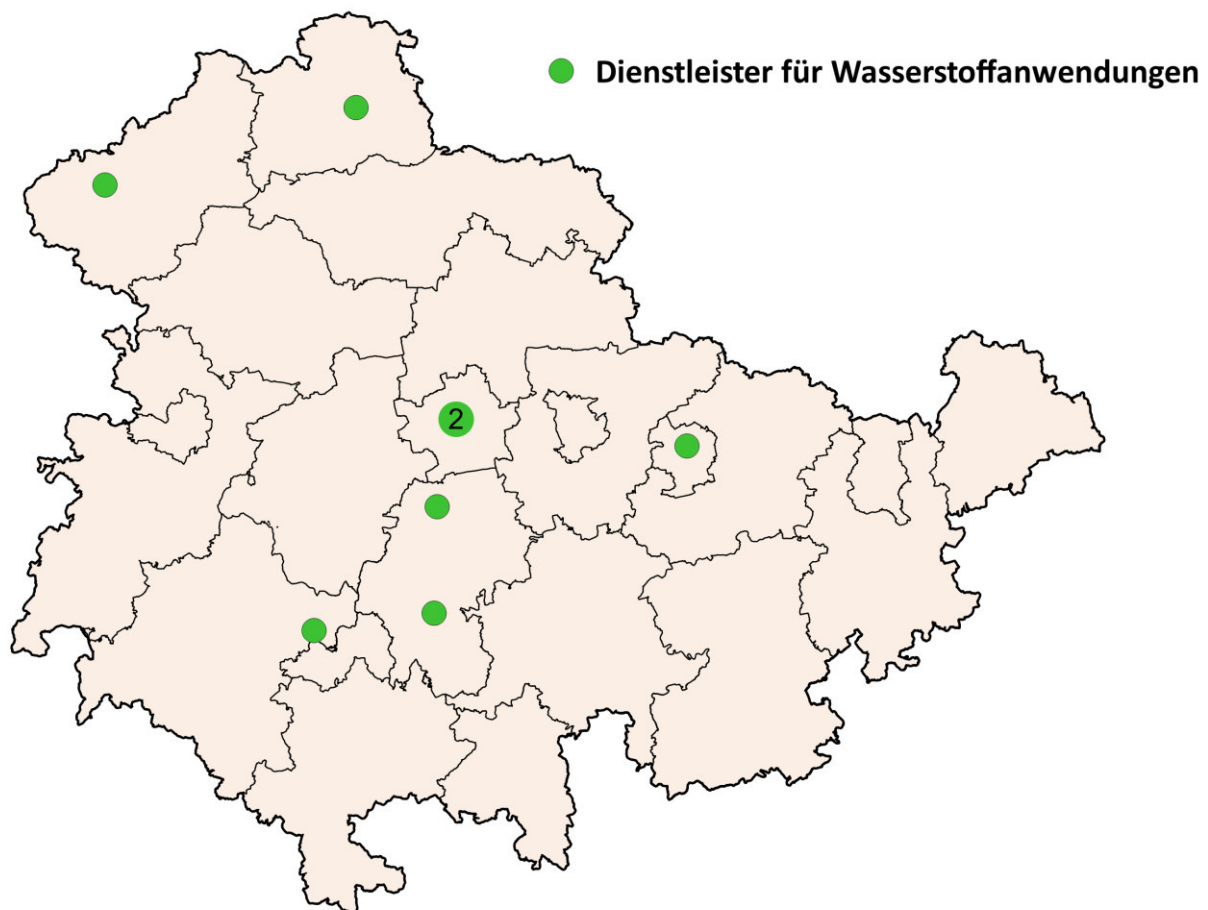


Abbildung 7: Dienstleister für Wasserstoffanwendungen (z. T. aggregiert)

6.3 Erzeugerstrukturen und derzeitiger Wasserstoffbedarf in Thüringen

Derzeit gibt es in Thüringen **keine großtechnischen Erzeugeranlagen** für Wasserstoff. Auch existieren bisher keine Wasserstoff-Erzeugungskapazitäten zur wirtschaftlichen Nutzung in Produktionsprozessen. Als **einzige Erzeugeranlage** in Thüringen war bis 2020 die **Power-to-Gas-Anlage auf der Kläranlage Sonneberg-Heubisch** als Forschungsanlage im Versuchsbetrieb. Da das Forschungsprojekt im Oktober 2020 endete, wurden die Versuchsanlagen stillgelegt. Bei der Firma AVX/Kumatec Hydrogen GmbH & Co. KG in **Neuhaus-Schierschnitz** wird derzeit eine **Elektrolyse-Anlage** mit nachfolgender Vertankung erprobt.

Da Wasserstoff deutschlandweit derzeit nahezu ausschließlich prozesstechnisch genutzt wird und in Thüringen keine entsprechenden industriellen Strukturen in der Chemieindustrie vorhanden sind, dürfte der **Verbrauch von Wasserstoff in Thüringen unter dem Bundesdurchschnitt** liegen. Ein Wasserstoffbedarf ist vor allem in der **Glasindustrie** an Standorten in Langewiesen, Jena und Piesau vorhanden, wobei hier sowohl großtechnische Produktionsanlagen als auch reine Versuchsanlagen zu versorgen sind. Daneben kommt Wasserstoff in Thüringen ebenfalls in der

Herstellung von Spezialchemikalien (Apolda), der **Halbleiterindustrie** (Forschungs- und Industriezentrum Erfurt-Südost), der **metallverarbeitenden Industrie** (Großheringen) und der **Oberflächenvergütung von Hartmetallen und Hartmetallwerkzeugen** (Barchfeld-Immelsborn) zum Einsatz. Die Bedarfe sind jedoch gering, sodass diese über eine Belieferung mit flüssigem Wasserstoff in vakuumisolierten Behältern oder gasförmigem Wasserstoff in Druckbehältern gedeckt werden. Größere Bedarfe ließen sich durch den Einsatz von Wasserstoff in energieintensiven Unternehmen generieren. Die **Stahlwerk Thüringen GmbH** in Unterwellenborn prüft bereits die Anwendungsmöglichkeiten und Anwendungspotentiale des Einsatzes von Wasserstoff als Brennstoffersatz.

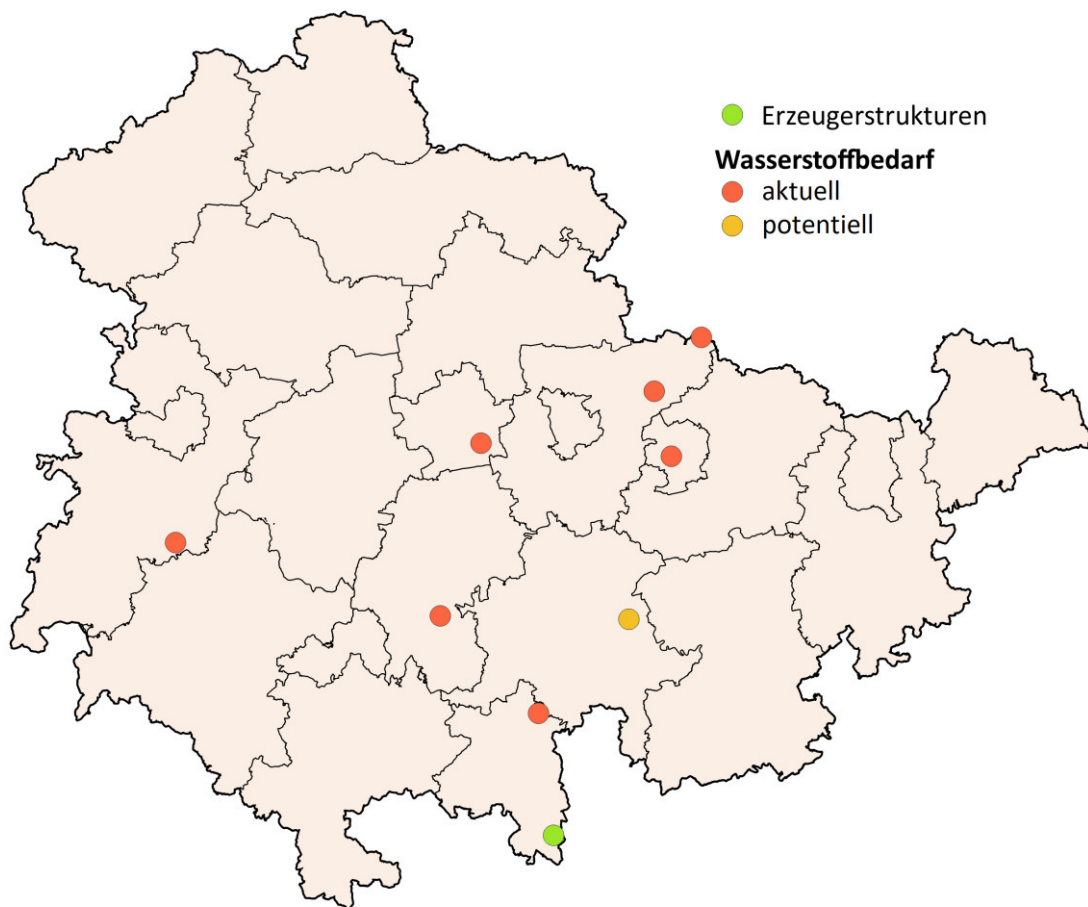


Abbildung 8: Erzeugerstrukturen und derzeitiger Wasserstoffbedarf

6.4 Infrastrukturen für die Wasserstoffnutzung

Leitungsgebundene Wasserstoffinfrastrukturen oder Wasserstoffspeicher sind in Thüringen bisher nicht vorhanden. Bis 2020 stand die einzige **Wasserstofftankstelle** in Thüringen als nicht öffentlicher Forschungsdemonstrator auf der **Kläranlage Sonneberg-Heubisch**, wurde jedoch mit Ende des Forschungsprojekts im Oktober 2020 außer Betrieb genommen. Weiterhin befindet sich

auf dem Werksgelände der Firma AVX/Kumatec Hydrogen GmbH & Co. KG in **Neuhaus-Schierschnitz** eine **Betriebstankstelle** mit Elektrolyseur in der Erprobung. Die **erste öffentliche Wasserstofftankstelle** in Thüringen wurde an der TOTAL Tankstelle Am Urbicher Kreuz in **Erfurt** eröffnet. Weitere öffentliche Wasserstofftankstellen des Zusammenschlusses (H2 MOBILITY 2020) sind in Thüringen derzeit nicht in der Planung. Jedoch wurde 2020 im **Güterverkehrszentrum Erfurt** eine Machbarkeitsstudie zur Errichtung und Betreibung einer öffentlich zugängigen **Wasserstofftankstelle für Lastkraftwagen** im Auftrag des Thüringer Ministeriums für Umwelt, Energie und Naturschutz (TMUEN) durchgeführt.

In einer weiteren vom TMUEN beauftragten Machbarkeitsstudie wurden die Möglichkeiten für ein Pilotprojekt zum Einsatz von **Wasserstoff-Brennstoffzellen-Triebwagen** auf Eisenbahnstrecken in Thüringen untersucht (Plank-Wiedenbeck et al. 2019). Im Ergebnis dieser Studie wurde die **Bahnlinie Rottenbach-Katzhütte**, deren derzeitiger Verkehrsvertrag Ende 2021 ausläuft, als die geeignetste Strecke für ein solches Pilotprojekt identifiziert. Die Ergebnisse der Studie und weitere Untersuchungen ergaben, dass in **Rottenbach** eine **Bahnwasserstofftankstelle** sinnvoll wäre, die mit über Elektrolyse erzeugtem grünen Wasserstoff versorgt werden soll. Eine Probefahrt mit dem Wasserstoff-Brennstoffzellen-Triebwagen Alstom Coradia iLint im Februar 2019 hat die grundsätzliche technische Machbarkeit demonstriert. Im Ergebnis dieser und weiterer Untersuchungen schafft das TMIL die konkreten Voraussetzungen für einen Einsatz von Wasserstofffahrzeugen auf der Schwarzatalbahn. Im Rahmen eines begonnenen Ausschreibungsverfahrens sollen möglichst schon ab 2023 Wasserstoffzüge auf der Strecke Rottenbach – Katzhütte eingesetzt werden. Die weitere Zeitschiene hängt allerdings auch noch von der Errichtung einer Tankstelle und der Fahrzeugbeschaffung ab. Auf Basis von belastbaren positiven Erfahrungen im Pilotprojekt kann der Einsatz von Brennstoffzellen-Zügen auf nicht elektrifizierten weiteren Strecken als ergänzender Baustein bei der weiteren Dekarbonisierung des Schienenverkehrs geprüft und genutzt werden.

Entlang der zwei wichtigen **Ost-West Transitleitungen für Erdgas** in Thüringen können zukünftig Potentiale für die Wasserstoffeinspeisung in bestehende Infrastrukturen entstehen. Doch auch die Verteilnetze können durch mittelfristige Überführung in H₂-Readiness aufgrund ihrer flächendeckenden Zugänglichkeit einen wesentlichen Beitrag für eine Wasserstoffwirtschaft leisten. Es besteht zudem die Möglichkeit, bisher nicht genutzte Infrastruktur auf FNB-Ebene in Thüringen für ein bundesweites H₂-Netz zugänglich zu machen. Solche Überlegungen sind bereits auf FNB-Ebene und in der Grüngas-Variante des Netzentwicklungsplanes Gas angedacht. Hieraus können sich weitere Ansätze für eine Thüringer Landesstrategie Wasserstoff ableiten.

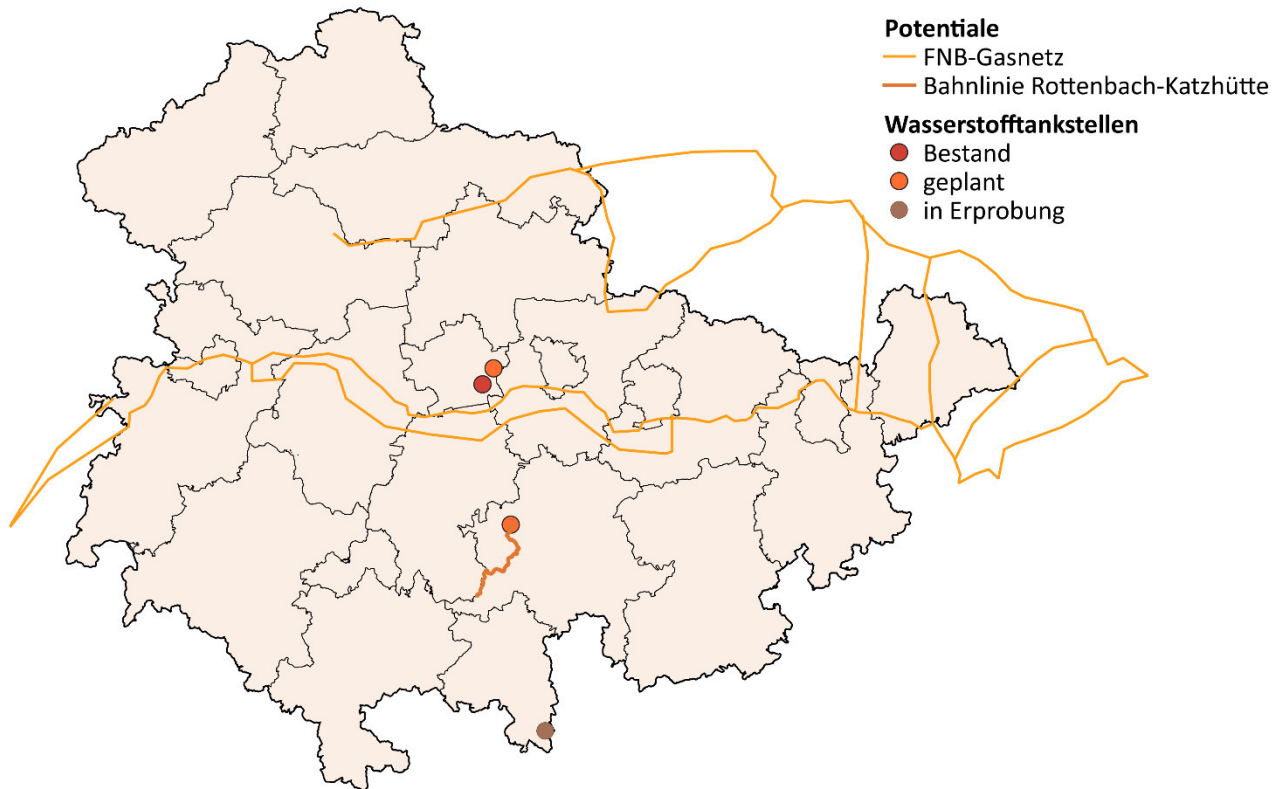


Abbildung 9: Infrastrukturen für die Wasserstoffnutzung (FNB – Fernleitungsnetzbetreiber, kein Anspruch auf Vollständigkeit)

6.5 Wasserstoff-Forschung und -Entwicklung

Seit Anfang der 2000er Jahre haben eine Reihe mit öffentlichen Geldern des BMBF, BMWi, BMVI, der EU und Landesmitteln geförderte **Forschungs- und Entwicklungsprojekte** unter Beteiligung Thüringer Firmen und Forschungseinrichtungen zu Themen der Wasserstofftechnologie und -nutzung stattgefunden oder befinden sich in der Umsetzung. Hieran waren/sind die folgenden **Thüringer Forschungseinrichtungen** beteiligt: die Technische Universität Ilmenau, die Friedrich-Schiller-Universität Jena, das Leibniz-Institut für Photonische Technologien e. V., der INNOVENT e. V., der BioEnergie Verbund e. V. und das Robert Boyle Institut in Jena, die Hochschule Nordhausen, die Arequa GmbH im Harztor, das CiS Forschungsinstitut für Mikrosensorik GmbH in Erfurt, die Bauhaus-Universität Weimar, das IAB - Institut für Angewandte Bauforschung Weimar gGmbH und das Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme IKTS in Hermsdorf.

Das Fraunhofer IKTS ist das größte an Wasserstoff forschende Institut in Ostdeutschland und stellt damit insbesondere die technologische Brücke in den mitteldeutschen Raum sicher. Das IKTS adressiert die gesamte Wertschöpfungskette der Wasserstoffwirtschaft, von der Herstellung über die Umwandlung und Nutzung bis zur Anwendung im Anlagenbau. Wesentliche Teile dieser

Aktivitäten sollen, abhängig von den Kooperations- und Randbedingungen, künftig in Thüringen stattfinden.

Mit Blick auf die **vorhandenen Forschungseinrichtungen und Unternehmen lassen sich regionale thematische Schwerpunkte** in den bisherigen Forschungsvorhaben erkennen. Diese sind wie folgt:

- **Ilmenau:** Sensorik zur Wasserstoffdetektion, Stromquellen für Elektrolysesysteme, Steuerungs- und Regelungskonzepte für Elektrolysesysteme, photokatalytische Wasserstoffherstellung
- **Hermisdorf:** Materialentwicklung für die Wasserstoffsensorik, katalytisch aktive Materialien für Wasserelektrolyseanwendungen, keramische Membranen/Membranreaktoren für Wasserstoffanwendungen, Mikro-Brennstoffzellensysteme
- **Jena:** photokatalytische Wasserstoffherstellung, katalytisch aktive Sensorschichten zur Wasserstoffdetektion, fermentative BioWasserstoff-Produktion, Systemuntersuchungen zu Wasserstoff-Untergrundspeichern
- **Sonneberg:** Wasserelektrolysesysteme, Systemintegration Elektrolysesauerstoff auf Kläranlagen
- **Nordhausen:** Wasserstoffspeicherung, Wasserstoffmotoren, Systemuntersuchungen, Plasmalyse von NH_4 belasteten Prozesswässern in Kläranlagen
- **Erfurt:** Sensorik zur Prozessüberwachung in Wasserstoffsystemen
- **Weimar:** Sektorenkopplung, Pyrolyse von Abfallstoffen, Wasserstoffnutzung in Gebäuden und der Baustoffindustrie, Systemuntersuchungen zu Wasserstoffinfrastrukturen

Das einzige bisher in Thüringen im Rahmen eines Forschungsvorhabens umgesetzte **Demonstrationsprojekt im technischen Maßstab** befand sich auf der Kläranlage Sonneberg-Heubisch und bestand aus den Komponenten einer alkalischen Elektrolyseeinheit, einer Wasserstofftankstelle, einem Wasserstoff-Sauerstoff-Kreislaufmotor und einer Versuchskläranlage zur Reinsauerstoffnutzung aus der Wasserelektrolyse (Jentsch und Büttner 2019). Im Rahmen des **Forschungsbündnisses H₂-Well** zur Entwicklung einer Wasserstoffmodellregion ist darüber hinaus geplant, in den Jahren bis 2024 in **Sonneberg** und **Apolda** weitere Wasserstoffinfrastrukturprojekte als Demonstratoren umzusetzen.

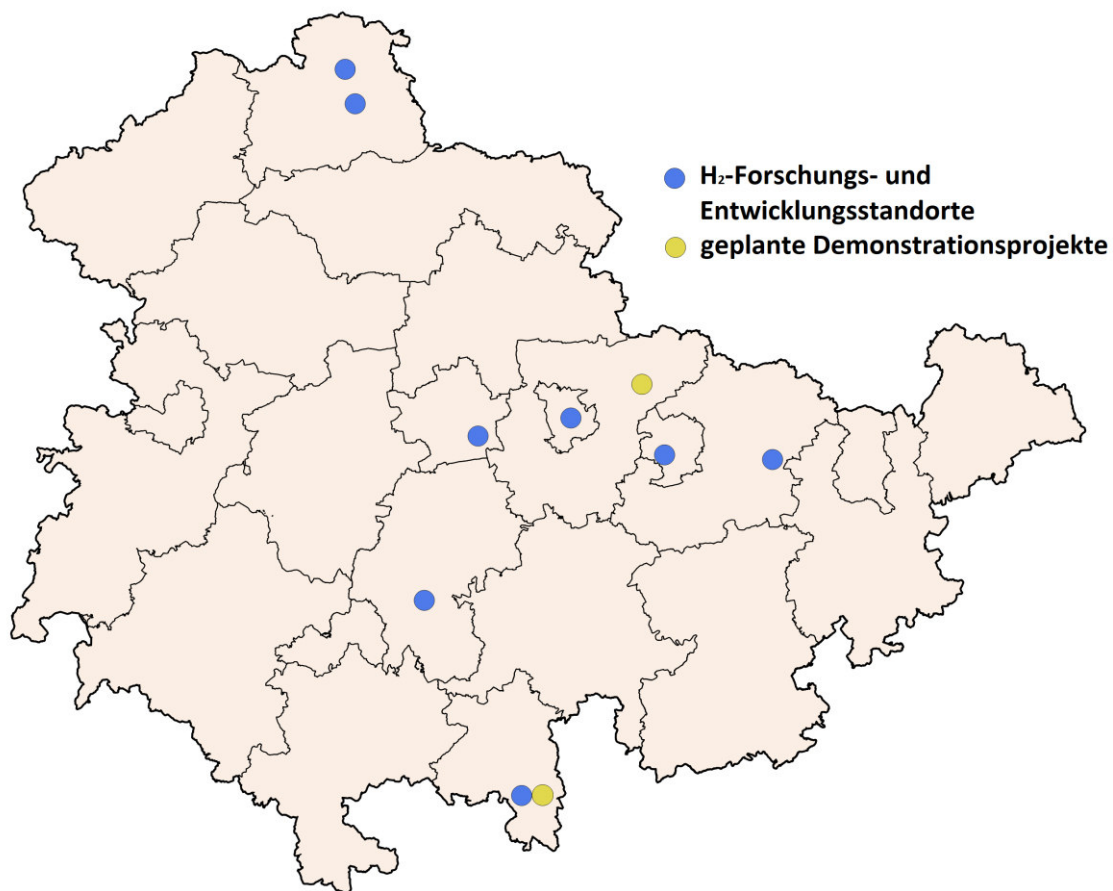


Abbildung 10: Wasserstoff-Forschung und -Entwicklung

Die im Rahmen der Thüringer Wasserstoffstrategie **geplanten Maßnahmen** des Landes zum gezielten Ausbau der Forschungslandschaft werden unter 3.4 beschrieben.

6.6 Vernetzungsaktivitäten

Der Themenbereich Wasserstofftechnologien ist seit etwa 2017/18 verstärkt in den Fokus verschiedener Thüringer Akteure aus Landespolitik, Wirtschaft, Wissenschaft, Kommune und Gesellschaft gerückt. So fand im August 2017 in Erfurt ein vom Deutschen Wasserstoff- und Brennstoffzellen-Verband (DWV) in Kooperation mit der IHK Erfurt organisierter **Parlamentarischer Abend** zum Thema Wasserstoff und Brennstoffzellen statt. 2018 wurden im Zusammenhang mit der Wasserstoffinitiative H₂-Well zwei große Veranstaltungen zur Konzeptfindung und Projektentwicklung in Sonneberg und Apolda abgehalten. Im Juni 2019 fand die **1. Thüringer Wasserstoffkonferenz** und im Oktober 2019 der **Workshop „Wasserstoff: Chancen und Ansätze für eine zukünftig nachhaltige und wirtschaftliche Nutzung“** in Erfurt statt. Die

verschiedenen Vernetzungsaktivitäten haben gezeigt, dass bei **Thüringer Unternehmen ein Interesse an der weiteren Technologieentwicklung** besteht und dass **Kommunen, kommunale Aufgabenträger sowie Energieversorger** der Umsetzung von Wasserstoffinfrastrukturen **aufgeschlossen gegenüberstehen**. Allerdings werden die Rahmenbedingungen von vielen Akteuren als noch zu wenig günstig für eine Umsetzung eingeschätzt.

Weiterhin hat es in Thüringen bereits Aktivitäten zu einer strukturellen Zusammenführung der verschiedenen Wasserstoffaktivitäten gegeben, indem im September 2018 in Sonneberg der **Förderverein Institut für Angewandte Wasserstoffforschung Sonneberg e. V. (HySON)** gegründet wurde. Der HySON e. V. hat hierbei die Förderung der Anwendung von Wasserstofftechnologien, Wasserstoffsyste men und der dazugehörigen Infrastruktureinrichtungen zum Ziel und möchte sich aktiv in Technologietransfer und Öffentlichkeitsarbeit einbringen. Am 02.07.2020 schlossen zudem der HySON e. V. und das **Thüringer Erneuerbare Energien Netzwerk (ThEEN) e. V.** als Innovationscluster und Kompetenzwerk der erneuerbaren Energien, Energiespeicherung, Energieeffizienz und Sektorenkopplung eine strategische Kooperation ab, mit der beide Unternehmens- und Forschungsnetzwerke gebündelt das Thema grüner Wasserstoff in Thüringen und über Thüringen hinaus voranbringen möchten.

Darüber hinaus ist seit dem 01.11.2020 das vom BMBF geförderte Innovationscluster **BioH2BK - Mitteldeutschland - BioWasserstoff + BioKonversion** aktiv. Ziel dieses Verbundes ist die Etablierung einer H₂-Kreislaufwirtschaft unter energetischer Verwertung bisher ungenutzter Biomasse.

6.7 Sonstige Wasserstoffansätze

Kommunen und ÖPNV:

Weimar und Weimarer Land

Im Rahmen des HyLand Wettbewerbs vom BMVI wurden die Stadt Weimar und der Landkreis Weimarer Land 2019 als eine von 9 HyStarter-Regionen in Deutschland ausgewählt und seit Ende 2020 bei der Entwicklung eines Wasserstoffkonzepts und der Herausbildung eines Akteursnetzwerks fachlich und strategisch unterstützt.

Mühlhausen

Die Stadtverwaltung Mühlhausen hat eine Machbarkeitsstudie in Auftrag gegeben, die den Einsatz von Wasserstofffahrzeugen bei der Regionalbus GmbH, im Abfallwirtschaftsbetrieb des Landkreises

und im städtischen Fuhrpark untersucht. In diesem Zusammenhang prüfen die Mühlhäuser Stadtwerke die Errichtung einer Wasserstofftankstelle.

Nordhausen

In Nordhausen läuft eine Machbarkeitsstudie zur regionalen Wasserstoffproduktion und der Umstellung des Stadtwerke-Fuhrparks. Eine weitere Machbarkeitsstudie prüft die Umrüstung einer Dampflok der Harzer Schmalspurbahn auf Wasserstoffantrieb.

Weimarer Land, Sömmerda, Sonneberg, Saale-Orla-Kreis und Weimar

Eine Machbarkeitsstudie untersucht derzeit den langfristigen Einsatz von grünem Wasserstoff aus erneuerbaren Energien als Treibstoff für Regionalbusse in den drei Landkreisen Weimarer Land, Sömmerda und Sonneberg, dem Zweckverband ÖPNV Saale-Orla und der Stadt Weimar.

Unstrut-Hainich- und Kyffhäuserkreis

In einer Machbarkeitsstudie wurde 2020 die Umstellung der regionalen Busflotte auf Wasserstoffantrieb im Unstrut-Hainich- und Kyffhäuserkreis geprüft.

Jena und Weimar

Der Kommunalservice Jena und der Kommunalservice Weimar prüfen den Wasserstoffantrieb für ihre Müllfahrzeuge.

Industrie und Forschung:

Sondershausen

Der Betreiber GSES plant ein komplett energieautarkes Bergwerk mit Wasserstoff als Stromspeicher und Treibstoff für alle Fahrzeuge und Maschinen.

Bad Langensalza

Die Loick-AG plant zusammen mit dem Fraunhofer UMSICHT den Bau eines Elektrolyseurs, welcher mit Strom aus einer neu zu errichtenden PV-Freiflächenanlage und bestehenden Windenergieanlagen gespeist werden soll. Wasserstoffnutzungspfade werden vorerst im Mobilitätssektor gesehen, jedoch sind auch industrielle Anwendungen oder die Einspeisung in das Erdgasnetz am Standort denkbar.

Eisenach

Die LINDIG Gruppe plant gemeinsam mit dem Konsortium des Projekts aus Bad Langensalza eine H₂-Tankstelle am Flugplatz Eisenach/Kindel zu installieren. Der notwendige grüne Wasserstoff soll über Trailer aus einer geplanten Elektrolyseanlage in Bad Langensalza angeliefert werden. Mit der Tankstelle sollen unterschiedliche Anwender aus den Bereichen Intralogistik, Logistik, ÖPNV und kommunale Abfallwirtschaft adressiert werden. In einer zweiten Phase können auch Anwendungen für die Luftfahrt in Form von eFuels oder direkten Wasserstoffantrieben unterstützt werden, die sich aktuell noch in der Entwicklung befinden.

Suhl/Zella-Mehlis

An der Restabfallbehandlungsanlage Südwestthüringen des Zweckverbands für Abfallwirtschaft Südwestthüringen (ZAST) wird ein Projekt mit 7,915 Mio. Euro durch das TMUEN gefördert, bei dem Wasserstoff über Elektrolyse mit dem biogenen Strom aus der Müllverbrennung erzeugt und in einem nachgeschalteten Prozess zusammen mit dem aus dem Rauchgas ausgeschleustem CO₂ Methanol hergestellt wird.

Erfurter Kreuz

Die Landesregierung entwickelt parallel zum neuen Batterie-Innovations- und Technologie-Center (BITC) am Erfurter Kreuz, unter Koordination des Fraunhofer IKTS und mit Partnern aus der Initiative Erfurter Kreuz sowie den Hochschulen, ein Wasserstoff-Anwendungszentrum. Inhaltlich sollen die Produktion von Elektrolysestacks der 100 kW-Klasse, die Systemintegration von Wasserstoff- und PtX-Anlagen und Brennstoffzellen sowie die Wasserstoff-Nutzung in technischen Wärmebehandlungsprozessen (Wasserstofföfen, Wasserstoffbrenner) vorangetrieben werden (siehe 3.4).

Sonneberg

In Sonneberg ist ein Gewerbe- und Industriegebiet „H₂-Region Thüringen/Franken (Sonneberg-Süd)“ in Planung. Im Zusammenhang mit dem Aufbau eines Forschungsclusters wird zudem die Errichtung eines anwendungsorientierten wirtschaftsnahen Forschungszentrums für H₂-Anwendungsfelder forciert (siehe 3.4).

Modellkonzepte:

Schwarzatal (Rottenbach)

Im Schwarzatal wurde 2020 eine Machbarkeitsstudie zur Weiterentwicklung der Region mithilfe von innovativen Wasserstoffinfrastrukturen in Ergänzung zum geplanten Wasserstoffzug (siehe 6.4)

durchgeführt. Hierbei wurden wesentliche Handlungsfelder einer Wasserstoffanwendung im Schwarztal betrachtet: Gebäude, Mobilität, Wasserstoffinfrastruktur, erneuerbare Energien, H₂-Erzeugung sowie Bildungs- und Öffentlichkeitsbereich. Die Studie zeigt, dass der Wasserstoffzug weitere (innovative) Impulse in der Region mit sich bringen kann und so positive Effekte für die regionale Wirtschaft und Gesellschaft entstehen könnten.

Südthüringen

In einer Machbarkeitsstudie im Auftrag der Landesregierung wird untersucht, wie die gesamte H₂-Wertschöpfungskette in der Region Südthüringen, Westsachsen und Nordbayern abgebildet werden kann. Im Fokus steht neben den Mobilitäts-Anwendungen auch der industrielle Sektor. Im Rahmen der Standortsuche sollen insbesondere Anlagen, welche in naher Zukunft aus der EEG-Vergütung fallen, herangezogen werden. Dazu zählen sowohl PV-, Windenergie-, Wasserkraft- und Biogasanlagen als auch große Biomassekraftwerke, wie die Zellstofffabrik in Rosenthal.

Gotha

In der Region zwischen Gotha und dem Rennsteig entsteht rund um die Schmalwasser-Talsperre ein H₂-Modellkonzept.

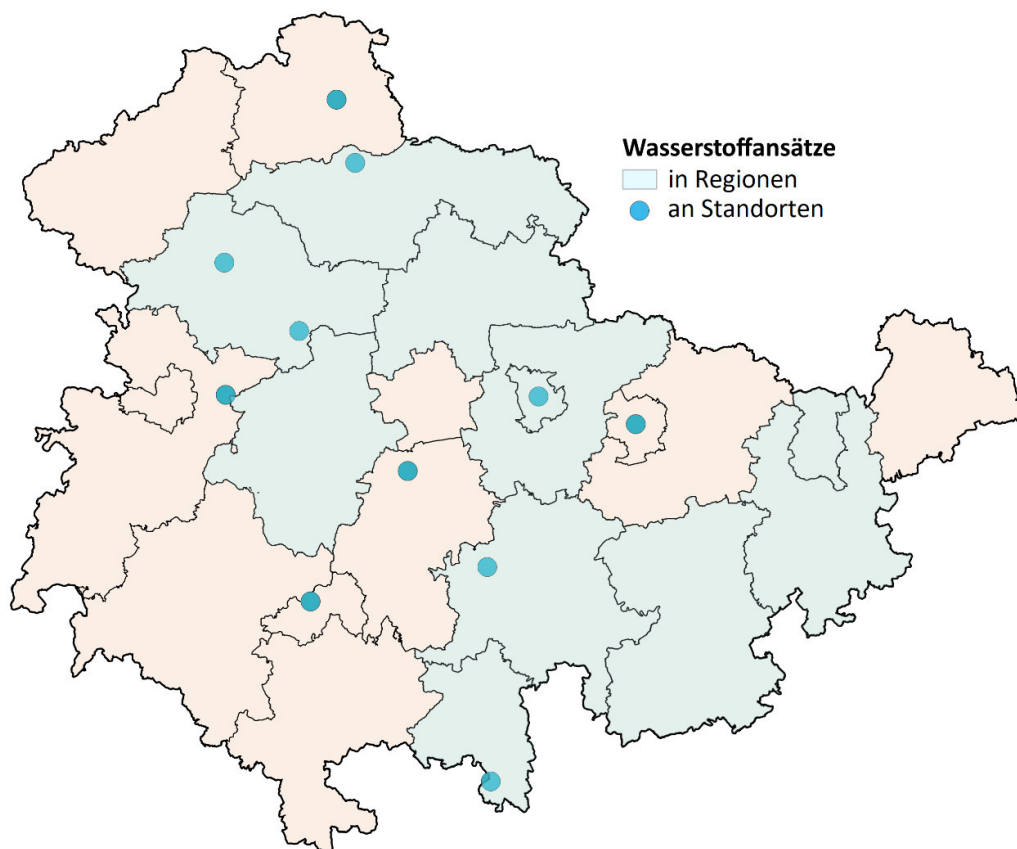


Abbildung 11: Sonstige Wasserstoffansätze in Regionen und an Standorten

7 Potentiale für grünen Wasserstoff in Thüringen

Der **Umbau des Energiesystems** und die Substitution fossiler Energieträger durch erneuerbare Energien wird in den kommenden Jahrzehnten signifikante **wirtschaftliche Auswirkungen** haben und **Transformationsprozesse** erforderlich machen. Im Rahmen der **Sektorenkopplung** werden konventionelle Technologien durch neue, klimafreundliche Alternativen ersetzt. Der dadurch ausgelöste Strukturwandel wird die globalen wirtschaftlichen Verhältnisse nachhaltig verändern und auch in Thüringen Anpassungsprozesse erforderlich machen. Neben den mit dem **Strukturwandel** verbundenen **erheblichen Risiken** für bestehende Arbeitsplätze und dem Erhalt der wirtschaftlichen Wettbewerbsfähigkeit des Wirtschaftsstandorts Thüringen, beispielsweise im Automotive-Bereich, aber auch in großen Teilen der energieintensiven Industrien, bestehen jedoch auch **Chancen für das Land Thüringen**. Durch das Adressieren zukunftsfähiger Themenfelder lassen sich neue Beschäftigungsperspektiven erschließen und mithilfe der infrastrukturellen Voraussetzungen und Gegebenheiten sowie der vorhandenen Technologiekompetenz und Innovationsfähigkeit weiter ausbauen. Die **Wasserstoffwirtschaft** ist ein **zukunftsfähiger Wirtschaftsbereich**, für den sich Thüringen jetzt in Position bringen muss.

Schon heute steigt die weltweite Nachfrage nach Wasserstoff kontinuierlich. Mit dem zukünftig erwarteten Marktwachstum wird die Technologie zunehmend wettbewerbsfähiger. Lokale **Unternehmen** müssen sich daher zeitnah entlang der gesamten Wasserstoff-Wertschöpfungskette **positionieren**, um mit der internationalen Konkurrenz **wettbewerbsfähig** zu bleiben.

Gelingt es **Thüringer Unternehmen**, sich in ausgewählten Technologiebereichen **Anteile am** sich entwickelnden **globalen Wasserstoff- und Brennstoffzellen-Markt zu sichern**, könnten Thüringer Hersteller von Komponenten und Produkten, Dienstleister und Technologie-Anbieter in der globalen Wasserstoff- und Brennstoffzellen-Industrie einen wichtigen **Beitrag zur zukünftigen Wettbewerbsfähigkeit des Standorts** leisten, der aktuell in besonderem Maße vom Wandel der Automobilindustrie betroffen ist, was perspektivisch mit der Umstellung der Produktionsprozesse einhergehen wird.

Es ist daher von immenser Bedeutung, den **Thüringer Unternehmen** bei ihrem **Eintritt in die Wasserstoffwirtschaft** größtmögliche **Unterstützung** zu bieten und sie kurzfristig auf dem Weg in dieses neue Technologiefeld durch Informations- und Kontaktmöglichkeiten bei der Suche nach passgenauen und potentialträchtigen Ansätzen landesseitig nach Kräften zu begleiten. Für eine künftige Wasserstoffwirtschaft in Thüringen sind mit Blick auf die **vorhandene Wirtschaftsstruktur** beispielsweise die Geschäftsfelder Energiewirtschaft/Energieinfrastrukturen, Automotive-Bereich, Komponenten für Wasserstofferzeugung und -distribution, Messtechnik, Sicherheitstechnik und Mobilitätsanwendungen von besonderem Interesse.

Wie im vorangegangenen Kapitel ersichtlich wurde, gibt es bislang in Thüringen noch eher wenige Akteure und konkrete Projekte. Die spezifischen **Potentiale für Wasserstoffsysteme und -infrastrukturen** leiten sich aus der Ausgangslage für Wasserstofftechnologien in Thüringen sowie den bereits erfolgten Aktivitäten in diesem Bereich ab. **An einigen Standorten** herrschen **günstige Bedingungen** für den Aufbau von Wasserstoff-Initialregionen, die es **gezielt zu entwickeln** gilt.

Das sind Standorte, die idealerweise über eine kritische Masse an Wasserstoffnachfrage in räumlicher Nähe zu Wasserstoffproduktion und Wasserstoffinfrastruktur verfügen. Eine **Initialregion** bündelt **Erzeugung** und **Verteilung** sowie **diverse Nutzungen** in energiewirtschaftlichen, logistischen und industriellen Anwendungen, wodurch die Wirtschaftlichkeit für alle beteiligten Partner steigt. Geeignet für die zu errichtenden Initialregionen sind beispielsweise Standorte, die **möglichst viele** der nachfolgenden **Bedingungen** erfüllen oder zeitnah herbeiführen können:

- regional bestehender industrieller Wasserstoffbedarf (z. B. Glas-, Halbleiter-, Chemie- oder Metallindustrie)
- regional bestehender Bedarf zur Versorgung von Zügen, Bussen, LKW, Flotten- oder Nutzfahrzeugen über eine multipel nutzbare Wasserstofftankstelle
- Industrieprozesse, bei denen Wasserstoff als Nebenprodukt anfällt
- eine Nähe zu vorhandenen oder zu errichtenden Wasserstofferzeugern
- nennenswerte regionale Stromerzeugungskapazitäten durch PV-, Wind- und Biogasanlagen zur Versorgung der Wasserelektrolyse
- technische Möglichkeiten für eine Wasserstoffspeicherung in Untertageformationen oder alternative Speichermöglichkeiten
- Möglichkeit einer Direkteinspeisung von Wasserstoff oder synthetischem Methan in bestehende Erdgasinfrastrukturen
- technische Einrichtungen für eine netzdienliche Rückverstromung
- Möglichkeit zur Errichtung von Anlagen zur Methanisierung unter Nutzung der CO₂-Emissionen von Biogas- oder Industrieanlagen, alternativ zur Synthese von flüssigen Kraftstoffen
- räumliche Nähe von Anlagen zur industriellen Nutzung des Elektrolysesauerstoffs, um die Gesamtwirtschaftlichkeit zu erhöhen
- Nutzung der Abwärme aus Methanisierung oder Elektrolyse durch Abgabe an lokale Verbraucher oder Einspeisung in ein Wärmenetz, um die Gesamtwirtschaftlichkeit zu erhöhen

- Zentrale Gebäudeenergieversorgung durch Kraft-Wärmekopplung in Wasserstoff-BHKWs oder Brennstoffzellen
- Erzeugung von industrieller Prozesswärme mit Wasserstoff oder synthetischen Kraftstoffen

Auch Standorte auf dem **Betriebsgelände** von Unternehmen, die aufgrund von **rechtlichen Privilegierungen**, z. B. der besonderen Ausgleichsregelung im Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG), bereits von günstigeren Strompreisen profitieren oder schon über relevante Genehmigungen verfügen, können **gute Ausgangspunkte** für eine Wasserstoff-Initialregion sein.

Der **Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft** über die gesamte Wertschöpfungskette sollte **vorrangig an Standorten** durch das Land flankiert werden, an denen nach Kenntnis der Landesregierung Thüringer Akteure bereits **eigene Aktivitäten** gestartet haben. Erste Elektrolyseure können dann mit der Erzeugung von grünem Wasserstoff und der Versorgung nahe gelegener Verbraucher beginnen und neue Unternehmen können sich ansiedeln. So kann ein **Netz aus ersten Initialregionen** entstehen, welches sich perspektivisch immer **weiter verdichten** wird.

Aus heutiger Sicht weisen die folgenden Standorte und/oder Regionen **besonders gute Startvoraussetzungen** auf:

Erfurter Kreuz

Das **Technologiedreieck Erfurter Kreuz** ist das größte Gewerbegebiet in Thüringen und aufgrund der Lage am Autobahnkreuz A4/A71 **infrastrukturell besonders gut angeschlossen**. Das bietet neben einem geeigneten Standort für eine **H₂-Tankstelle** auch gute Voraussetzungen für die **Ansiedlung neuer Unternehmen** und begünstigt die Bereitschaft zur **Umstellung vorhandener Fahrzeuge** auf Wasserstoffantrieb. Im Rahmen der Ansiedlung eines chinesischen Batterieherstellers entsteht zudem vor Ort ein neu gegründetes Batterie-Innovations- und Technologie-Center als Außenstelle des Fraunhofer IKTS, welches in einem weiteren Entwicklungsschritt auch **Wasserstoffforschung** betreiben wird (siehe 3.4). Die energetische Infrastruktur des Erfurter Kreuz, insbesondere im Kontext der Massenproduktion von Batterien, würde deutlich von einer **Umstellung auf Wasserstoff** als Energieträger profitieren. Zudem besteht durch die nahe gelegene Verdichterstation Eischleben die Möglichkeit, große Mengen Wasserstoff dosiert in das **Erdgas-Fernleitungsnetz einzuspeisen**.

Nordhausen

Nordhausen besticht durch das breite Spektrum laufender **Wasserstoffaktivitäten und Kompetenzen** auf diesem Gebiet. Es wird gegenwärtig eine **Machbarkeitsstudie** bei den Stadtwerken Nordhausen zur regionalen **Wasserstoffproduktion** und der **Umstellung des Fuhrparks** erarbeitet. Eine weitere Machbarkeitsstudie prüft die **Umrüstung** einer Dampflok der

Harzer Schmalspurbahn auf Wasserstoffantrieb. Mit der **Hochschule Nordhausen** gibt es zudem Expertise im Bereich der erneuerbaren Energien und auf dem Gebiet der Wasserstoffforschung. Die **adapt-engineering GmbH & Co. KG** entwickelt Wasserstoffmotoren für den stationären und mobilen Einsatz. Darüber hinaus gibt es mit dem Anlagenbauer **Maximator** einen Technologieführer auf dem Gebiet der Hochdrucktechnik und einen weltweit exportierenden Hersteller für Wasserstoff-Tankstellen.

Bad Langensalza

In Bad Langensalza strebt die **Loick AG** zusammen mit dem **Fraunhofer Umsicht** derzeit ein Projekt an, mit dem neben dem Neubau einer **PV-Freiflächenanlage** und der Integration nicht mehr durch das EEG geförderter **Bestandswindkraftanlagen** eine Anlage zur **Erzeugung und Speicherung von Wasserstoff** errichtet werden soll. Geplant ist der stufenweise Aufbau eines cross-industriellen Verbunds. Neben der Bereitstellung grünen Stroms für örtliche Gewerbe- und Industriebetriebe wird die Etablierung einer regionalen H₂-Wertschöpfungskette von der Erzeugung bis zur Nutzung fokussiert. Das Projekt sieht stufenweise Ausbauphasen vor, bei denen der vor Ort erzeugte grüne Wasserstoff für verschiedene **Anwendungen**, beispielsweise in **Verkehr oder Industrie**, genutzt werden könnte. Eine **Machbarkeitsstudie** sieht zunächst Anwendungsmöglichkeiten im **Mobilitätsbereich**. Denkbar wäre die Errichtung einer örtlichen **Wasserstofftankstelle** für die Versorgung ansässiger Busbetreiber und kommunaler Fahrzeuge sowie die **mobile H₂-Speicherung** und **Belieferung** weiterer verschiedener regionaler Abnehmer, wie bspw. der geplanten Tankstelle am Flugplatz Eisenach/Kindel.

Schwarzatal

Im Rahmen einer **Machbarkeitsstudie**, die die regionale **Wasserstofferzeugung und -anwendung** in der **Modellregion Schwarzatal** untersuchte (siehe 6.7), wurden neben dem **Mobilitätssektor** und der **Gebäudeenergieversorgung** auch die Erzeugung des Wasserstoffs durch **regionale Synergiepotentiale**, wie der bestehenden Biogasanlage, geprüft. Mit dem geplanten Betrieb eines **Brennstoffzellenzugs** entsteht ein erster stetiger Wasserstoffbedarf in bedeutenden Größenordnungen, was für die initiale Realisierbarkeit eines solchen Vorhabens unerlässlich ist. Darauf aufbauend könnten **weitere Nutzungspfade** entstehen und die Erzeugungskapazitäten je nach Bedarfslage erweitert werden. Die Umsetzung des Konzepts könnte die **Region strukturell stärken** und darüber hinaus als **Vorbild für weitere Projekte** dienen.

Sonneberg

Im Landkreis Sonneberg steht gegenwärtig thüringenweit die **einzige Elektrolyse-Anlage**. Es konnten bereits **mehrjährige Erfahrungen** bei der **Erzeugung** von grünem Wasserstoff, der anschließenden **Vertankung** an PKWs und der **Sauerstoffnutzung** zur Abwasserreinigung gesammelt werden. Damit sind schon **erste Voraussetzungen** für die regionale Wasserstofferzeugung und -anwendung geschaffen, welche weiter ausgebaut und damit **neue Wertschöpfungspotentiale** generiert werden können. Mit dem geplanten **Gewerbe- und Industriegebiet „H₂-Region Thüringen/Franken (Sonneberg-Süd)“** werden Entwicklungsflächen für Wasserstofftechnologien angeboten. Zudem wird die Errichtung eines **Forschungszentrums für H₂-Anwendungsfelder** am Standort Sonneberg vorangetrieben, wodurch die wirtschaftlichen und energiepolitischen Synergiepotentiale durch neue Forschungsaktivitäten ergänzt werden können (siehe 3.4).

Zusätzlich zu den technologiegetriebenen Optionen und den Möglichkeiten, die sich aus der Weiterentwicklung der oben beschriebenen Initiativen ergeben, eröffnen sich für das Land Thüringen **Entwicklungschancen**, die sich aus seiner geographischen Lage, seiner Topographie und Geologie sowie den bereits vorhandenen Energie-Infrastrukturen ableiten lassen: Durch das „Energietransitland“ Thüringen werden mit dem weiteren bundesweiten **Ausbau der erneuerbaren Energien** zukünftig **noch größere Mengen elektrischer Energie** geleitet. Regenerativ erzeugter Strom aus dem windreichen Norden soll über die **Übertragungsnetze** (z. B. Thüringer Strombrücke) in den energiehungrigen Süden Deutschlands gelangen. Entlang dieser **Stromtrassen** könnten **Elektrolyseure** in großen Dimensionen **netzdienlich Wasserstoff erzeugen**.

Eine ähnliche Situation zeigt sich für die **Erdgasversorgung**. Mit einer Reihe von **Pipelines**, die das Land durchziehen, ist Thüringen auch in diesem Bereich Energietransitland. Zudem gibt es im Land Thüringen diverse **Untertageformationen**, in denen Wasserstoff oder synthetisches Erdgas gelagert werden kann.

Aufgrund dieser Gegebenheiten und seiner zentralen Lage in Deutschland bietet sich **Thüringen als Standort für zentrale Wasserstofferzeugungsanlagen** im bundesdeutschen Energiesystem an. In Thüringen könnte der zur Stabilisierung der Stromversorgung erzeugte Wasserstoff an zentraler Stelle beispielsweise dem **Erdgas in den Transit-Pipelines zugemischt** werden. Eine Option, die in der bundesdeutschen Energiewirtschaft rege diskutiert wird. Bei der Wahl potentieller Einspeisepunkte muss jedoch die Fließrichtung (von Ost nach West und von Hochdruck nach Niederdruck) berücksichtigt werden.

Die **zentrale Lage Thüringens** hat bereits zu einer **hohen Dichte von Energieinfrastrukturen** geführt. Mit diesem herausragenden **Standort-Charakteristikum** kann Thüringen in Zukunft

Wertschöpfungspotentiale für das Land heben. Vorbild für derartige Geschäftsmodelle kann beispielsweise die Schweiz sein, die mit ihren Stromspeichern zur paneuropäischen Drehscheibe für die Energiewirtschaft geworden ist und damit wirtschaftlich erfolgreich ist. In Thüringen gibt es Voraussetzungen, eine ähnliche Position als **zentraler Dienstleister für eine aufkommende Wasserstoffwirtschaft** in Deutschland einzunehmen. Daran anschließend und darauf aufbauend können auch Themenfelder wie synthetisches Erdgas oder synthetische Kraftstoffe adressiert werden.

8 Zielstellung, Handlungsfelder und Ausblick

8.1 Mit grünem Wasserstoff die Thüringer Klimaschutzziele erreichen

Im **Thüringer Klimagesetz** ist als handlungsleitendes Ziel festgelegt, die **Treibhausgasemissionen** bis 2050 um 95 % gegenüber dem Stand von 1990 zu **senken**. Auf dem Weg dorthin müssen **alternative Optionen** zu den derzeit noch eingesetzten fossilen Energieträgern entwickelt werden, um eine **Dekarbonisierung** in den verschiedenen Sektoren (Strom, Wärme, Verkehr, Industrie, Landwirtschaft) zu erreichen. Das gilt insbesondere für gasförmige und flüssige Energieträger, die langfristig ein integraler Bestandteil des Energiesystems bleiben werden.

Der Einsatz von Wasserstoff für das zukünftige Energiesystem gewinnt auf nationaler und internationaler Ebene zunehmend an Bedeutung. Wasserstoff übernimmt hier eine zentrale Rolle bei der Weiterentwicklung und Vollendung der Energiewende. Dabei liegt der **Fokus der Landesregierung auf der Erzeugung und Verwendung von grünem Wasserstoff**, der durch regenerativen Strom durch Elektrolyse erzeugt werden soll.

Grundlage einer grünen Wasserstoffwirtschaft in Thüringen ist die Bereitstellung einer ausreichenden Erzeugungsleistung von erneuerbaren Energien. Angesichts der derzeitigen Erzeugungssituation im Lande muss der **Ausbau der erneuerbaren Energien beschleunigt** werden. Ein entsprechender Zubau von regenerativen Stromerzeugungsanlagen in Thüringen, um die regionale Produktion von grünem Wasserstoff zu ermöglichen, wird durch die Thüringer Landesregierung angestrebt. Konkretere Ausführungen zum Ausbau wurden in Kapitel 5 erarbeitet.

8.2 Rahmenbedingungen für den Aufbau einer nachhaltigen und grünen Wasserstoff-Wirtschaft setzen

Die bestehenden **rechtlich-regulatorischen Rahmenbedingungen** sind aktuell **investitionshemmend** in Bezug auf den Aufbau einer nachhaltigen Wasserstoffwirtschaft in Deutschland und somit auch in Thüringen. **Verschiedene Faktoren**, die auf Bundes- und/oder EU-Ebene zu entscheiden sind, beeinflussen die Marktdurchdringung von grünem Wasserstoff.

Für eine nachhaltige und grüne Wasserstoffwirtschaft sind **Klassifizierungs- und Nachweissysteme** für klimaneutralen Wasserstoff und dessen Folgeprodukte auf nationaler und internationaler Ebene unumgänglich. Dabei sollten neben den Herkunftsnachweisen für Strom auch der CO₂-Fußabdruck der verschiedenen Wasserstoffarten über die gesamte Lieferkette betrachtet werden. „Klimaneutraler“ Wasserstoff auf Basis von Erdgas (blauer, türkiser Wasserstoff) weist aufgrund von Leckagen bei der Erdgasförderung und des Transportes einen wesentlich höheren CO₂-Fußabdruck auf als grüner Wasserstoff. Für einen zeitnahen Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft kann allerdings auf die Erzeugung und Nutzung von blauen und türkisen Wasserstoff nicht verzichtet werden. Mittel- bis langfristig liegt der Fokus in Thüringen jedoch auf der Erzeugung und Verwendung von grünem Wasserstoff. Der Aspekt der Regionalität sollte ebenfalls Einzug in das Kennzeichnungssystem finden. Die Thüringer Landesregierung wird sich dafür einsetzen, dass der Bund ein nationales und internationales Klassifizierungs- und Nachweissystem zeitnah erarbeitet.

Für die Integration von Sektorenkopplungstechnologien, wie beispielsweise Power-to-Gas, in das zukünftige Energiesystem, ist eine **Reform des Abgaben- und Umlagensystems** im Strombereich unumgänglich. Im Vergleich zu anderen Sektoren (Wärme, Verkehr) ist der Stromsektor übermäßig mit staatlich induzierten Abgaben und Umlagen behaftet. Die Thüringer Landesregierung wird sich auf Bundesebene dafür einsetzen, dass eine entsprechende Reform erarbeitet wird und eigene Vorschläge im Rahmen der Arbeitsgruppe „*Finanzierung der Energiewende*“ einbringen.

Ein notwendiger **Rechtsrahmen für Wasserstoff** steht im deutschen Energierecht noch aus. Wasserstoff und der dazugehörige Netzausbau/Netzumwidmung muss unter anderem im EnWG und der Gasnetzzugangsverordnung (GasNZV) zukünftig Berücksichtigung finden. Weitergehend sollte grüner Wasserstoff auch im EEG, BEHG, TEHG und GEG als erneuerbares und dekarbonisiertes Gas Anerkennung bekommen. Eine Förderung von H₂-Readiness-Anlagen im KWKG sollte ebenfalls vorangebracht werden, um den Einsatz von Wasserstofftechnologien in diesem Bereich langfristig zu fördern. Die Thüringer Landesregierung wird sich auf Bundesebene für die Schaffung eines rechtlichen Rahmens für Wasserstoff einsetzen, damit eine grüne Wasserstoffwirtschaft nachhaltig aufgebaut werden kann.

8.3 Aufbau einer relevanten Wasserstoff-Wirtschaft in Thüringen

Damit grüner Wasserstoff ein zentraler Bestandteil einer Dekarbonisierungsstrategie werden kann, muss die gesamte Wertschöpfungskette – Technologien, Erzeugung, Speicherung, Infrastruktur und Verwendung einschließlich Logistik – in den Blick genommen werden. Produktion, Verteilung und Anwendung von Wasserstoff werden in Thüringen einen wichtigen **Beitrag zur regionalen Wertschöpfung** leisten.

Damit die Umstellung industrieller Prozesse über modellhafte Pilotprojekte hinaus gelingt, ist eine **finanzielle Unterstützung** der Thüringer Industrie erforderlich. CO₂-ärmere Technologien und Verfahren sind noch deutlich teurer als konventionelle Herstellungsprozesse. Daher sind die Unternehmen bei den mehrdimensionalen und disruptiven Veränderungsprozessen finanziell und auch nicht-monetär (Carbon Leakage, Carbon Contracts for Difference) zu unterstützen. Thüringen wird sich daher **auf Bundesebene dafür einsetzen**, dass das EU-Recht die erforderlichen beihilferechtlichen Spielräume zur Flankierung der Transformation der Industrie schafft.

Die Thüringer Landesregierung hat sich das Ziel gesetzt, mittelfristig die **Ansiedlung von Unternehmen** aus der Wasserstoff-Wertschöpfungskette an geeigneten Standorten in Thüringen zu intensivieren und bereits in Thüringen **vorhandene Akteure** aus der Wasserstoff-Wirtschaft bei der Integration ihrer Produkte im Markt zu **unterstützen**.

Mit einer Verbesserung der rechtlich-regulatorischen Rahmenbedingungen für die Produktion von grünem Wasserstoff strebt die Thüringer Landesregierung bis 2030 den **Aufbau einer signifikanten Elektrolyseleistung** an. Der erzeugte Wasserstoff soll regional verbraucht werden. Hierfür wird die Landesregierung unter Einbindung der relevanten Akteure die Potentiale für den Einsatz von Wasserstoff-Brennstoffzellen-Triebwagen auf Thüringer Bahnstrecken und Wasserstoff-Brennstoffzellen-Bussen im Stadt- und Überlandverkehr prüfen. Ein wichtiger Prüfmaßstab ist auch das Anliegen, dass potentiell erhöhte Aufwendungen für die Nutzung von Wasserstoff-Fahrzeugen nicht zulasten von bestehenden ÖPNV-Angeboten oder der entsprechenden Infrastruktur gehen. Ebenso die Anwendungspotentiale in der Thüringer Industrie (bspw. Keramik- und Glasherstellung) und in der Logistik-Branche (Wasserstoff-Flurförderfahrzeuge) stehen im Fokus einer genaueren Evaluation.

Als Ergebnis der laufenden Wasserstoff-Bestandsaufnahmen sowie aus den Empfehlungen von Machbarkeitsstudien kristallisieren sich **Standorte im Land Thüringen** heraus, an denen vermehrte Aktivitäten, standortspezifische Besonderheiten oder regionale Entwicklungsimpulse mit Blick auf eine künftige Wasserstoffwirtschaft zu verzeichnen sind. Auf den Schienenverkehr bezogene Aktivitäten werden derzeit auf solche Strecken konzentriert, für die keine durchgehende

leitungsgebundene Elektrifizierung infrage kommt. An besonders geeigneten Standorten werden im Sinne von **Wasserstoff-Initialregionen** die Entwicklung der Technologien forciert vorangetrieben. In der Folge sollen sich Wasserstofftechnologien und -anwendungen aus diesen Regionen in das Umland hinein entwickeln.

8.4 Vorbildfunktion der öffentlichen Hand als Wasserstoff-Anwender

Sowohl das Land Thüringen als auch die Thüringer Kommunen können Handlungsmöglichkeiten im eigenen Verantwortungsbereich nutzen, um Anreize zur Entwicklung einer Wasserstoffwirtschaft zu setzen. In öffentliche Auftragsvergaben im Bereich der nachhaltigen Mobilität muss in Zukunft zudem die Umsetzung der EU-Clean-Vehicles-Richtlinie einbezogen werden. In diesem Zusammenhang unterstützt die Landesregierung die **Integration von Wasserstoff-Brennstoffzellen-Fahrzeugen in den Fuhrparks kommunaler Unternehmen**. Gleiches gilt für schienengebundene Fahrzeuge. Als Aufgabenträger für den Schienenpersonennahverkehr (SPNV) prüft das Land fortlaufend Potentiale und Möglichkeiten der Umstellung von Bahnstrecken auf alternative Antriebe unter Einsatz von grünem Wasserstoff. Zur Unterstützung dieses Transformationsprozesses prüft das Land Thüringen geeignete Förderprogramme. Hierfür wird der vorrangige Einsatz Europäischer Struktur- und Investitionsfonds sowie von Bundesprogrammen geprüft, um die finanziellen Auswirkungen auf den Landeshaushalt gering zu halten sowie negative Folgen für die Finanzierung von ÖPNV-Angeboten zu verhindern. Die einschlägigen Beschaffungs- und Vergaberichtlinien im Land Thüringen werden auf eine Kompatibilität mit dem Thema Wasserstoff überprüft und gegebenenfalls angepasst. Dabei werden auch Fragen einer nachhaltigen Nutzung einbezogen.

8.5 Ausbau der Forschungslandschaft sowie technologie- und infrastrukturbezogene Förderprogramme

Die Thüringer Wasserstoffstrategie beinhaltet strukturprägende Impulse für den **Ausbau der Forschungslandschaft** (siehe 3.4). Bei der anwendungsorientierten Weiterentwicklung dieser Forschungslandschaft, aber auch bei eigenen **technologie- und infrastrukturbezogenen Förderprogrammen** decken sich die Ausführungen der Thüringer Wasserstoffstrategie mit den Strategieüberlegungen auf Bundes- und EU-Ebene. Dies ist unter anderem darin begründet, dass Wasserstoffprojekte auch in Thüringen durch EU- und Bundesfördermittel in Kombination mit Landesförderprogrammen finanziert werden sollen. Die Thüringer Landesregierung wird bestehende **Landesförderprogramme** im Bereich Technologieentwicklung, aber auch solche für Projekte zum Umwelt- und Klimaschutz auf deren Inhalte hin überprüfen, ob und wie sie in der aktuellen Form **für den Anwendungsbereich Wasserstofftechnologie** genutzt werden können.

Wichtig ist, dass in Thüringen für alle Wasserstoff-Anwendungsgebiete **Förderinstrumente** zur Verfügung stehen, um die in der Anfangszeit bestehende Wirtschaftlichkeitslücke zu minimieren. Soweit sich aus der Umsetzung von Maßnahmen aus dieser Landesstrategie finanzielle Auswirkungen auf den Landeshaushalt ergeben, stehen diese unter dem Vorbehalt entsprechend verfügbarer Haushaltsmittel.

Aufgrund der Vielzahl und Komplexität der verschiedenen Förderprogramme auf Bundes- und EU-Ebene, in Bezug auf Technologieförderung oder dem Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft, ist es aus Sicht der Landesregierung notwendig, die Informationen endverbrauchergerecht aufgearbeitet zur Verfügung zu stellen und potentielle Thüringer Antragsteller mit Blick auf die Adressierung einer EU- oder Bundesförderung zu befähigen. Hierfür wird, wie vorab erläutert, die Landesregierung eine allgemeine **Fördermittelerstberatungsstelle** bei der **ThEGA** aufbauen.

8.6 Synergien erkennen und nutzen

In Deutschland und Europa gibt es eine große Anzahl von Wasserstoffinitiativen und -regionen, die die Entwicklung einer Wasserstoffwirtschaft zum Ziel haben. Mehrere Bundesländer sind in der Ausarbeitung einer Wasserstoff-Strategie oder haben diese bereits veröffentlicht. Die Thüringer Landesregierung prüft eine **enge Kooperation mit diesen Bundesländern**. Ziel ist es, Synergien zu schaffen, um beispielsweise gegenüber dem Bund und der EU gemeinsame Interessen zu vertreten. Auch Kooperationen mit benachbarten Bundesländern wie Sachsen-Anhalt und Sachsen können für Thüringen kurz- bis mittelfristig vorteilhaft sein, da in Thüringen möglicherweise komplette Wertschöpfungsketten nicht abgebildet werden können, spezifische Forschungsexpertise nicht vorhanden ist oder einzelne Industriesegmente nicht existent sind. Auf der anderen Seite kann die Thüringer Expertise die Entwicklung in den Nachbarländern unterstützen. Durch eine derartige **länderübergreifende Kooperation** sollen Synergien erschlossen werden, zum Beispiel durch die Bündelung von Wasserstoffnachfrage, die gemeinsame Errichtung und Nutzung von Erzeugungs- und Verteil-Infrastrukturen sowie die gemeinsame Akquisition von Bundes- und EU-Mitteln.

Einen ersten Schritt in diese Richtung vollzieht Thüringen durch sein Engagement im „**H₂-Masterplan Ostdeutschland**“, in dem Vertreter aller ostdeutschen Landesregierungen, verschiedene Fraunhofer-Institute und Industrievertreter gemeinsam die Hindernisse einer Wasserstoffwirtschaft identifizieren und entsprechende Lösungsansätze erarbeiten wollen. Die Ziele des Konsortiums sind Synergiepotentiale der ostdeutschen Länder zu erkennen, den Austausch zwischen den Ländern zu fördern und länderübergreifende (gemeinsame) Projekte zu finden und umzusetzen.

In Thüringen gibt es eine Anzahl von Akteuren mit Interessen im Bereich der Wasserstoffthematik. Die Interessenlagen sind dabei zum Teil recht unterschiedlich. Eine Bündelung der Aktivitäten hat in Thüringen bislang nur in Ansätzen stattgefunden. Die Landesregierung setzt sich das Ziel, die **Netzwerkbildung** in Thüringen und den **Informationsaustausch** zwischen allen Akteuren aktiv zu befördern. So können Synergien erzeugt und Doppelarbeiten vermieden werden.

Hierfür wird eine **Netzwerk- und Beratungsstelle** bei der **ThEGA**, vergleichbar zur Servicestelle Wind- und Solarenergie, aufgebaut. Neben einer praxisorientierten Initialberatung zu potentiell geeigneten Technologien, unter Berücksichtigung der individuellen energetischen, strukturellen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen vor Ort, unterstützt die ThEGA – in **Abstimmung** mit den innovations- und technologieorientierten Aktivitäten des **Thüringer ClusterManagements (ThCM)** der LEG Thüringen – auch bei der Akquise von Fördermitteln auf EU-, Bundes- und Landesebene sowie bei der Umsetzung und fachlichen Begleitung von Wasserstoff-Projekten in Thüringen.

Quellenverzeichnis

Bayerischer Rundfunk, Anstalt des öffentlichen Rechts (ARD) (2020): Kommt jetzt die Wasserstoff-Revolution? Online verfügbar unter <https://boerse.ard.de/anlagestrategie/branchen/kommt-jetzt-die-wasserstoffrevolution100.html>.

BMWi - Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (Hg.) (2020a): Die Nationale Wasserstoffstrategie. Berlin. Online verfügbar unter <https://www.bmbf.de/files/die-nationale-wasserstoffstrategie.pdf>, zuletzt geprüft am 09.10.2020.

BMWi - Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (Hg.) (2020b): Energiewirtschaftliche Projektionen und Folgeabschätzungen 2030/2050. Dokumentation von Referenzszenario und Szenario mit Klimaschutzprogramm 2030. Online verfügbar unter https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Wirtschaft/klimagutachten.pdf?__blob=publicationFile&v=8, zuletzt geprüft am 05.12.2020.

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) (2020c): Nationale Wasserstoffstrategie. Berlin. Online verfügbar unter https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/die-nationale-wasserstoffstrategie.pdf?__blob=publicationFile&v=16, zuletzt geprüft am 14.11.2020.

Bundesnetzagentur (BNetzA) (2019): Marktstammdatenregister. Bonn. Online verfügbar unter www.marktstammdatenregister.de, zuletzt geprüft am 26.02.2021.

Bundesnetzagentur (BNetzA) (2020): Regulierung von Wasserstoffnetzen. Bestandsaufnahme. Bonn. Online verfügbar unter https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Energie/Unternehmen_Institutionen/NetzentwicklungUndSmartGrid/Wasserstoff/Wasserstoffpapier.pdf;jsessionid=DD1EDE34704909367D1E9D06AFE60F82?__blob=publicationFile&v=2, zuletzt geprüft am 12.11.2020.

Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. (BDEW) (2020): BDEW-Gaspreisanalyse. Juli 2020. Online verfügbar unter https://www.bdew.de/media/documents/201013_BDEW-Gaspreisanalyse_Juli_2020.pdf, zuletzt geprüft am 13.11.2020.

Deutscher Industrie- und Handelskammertag e. V. (DIHK) (2020): Wasserstoff DIHK Faktenpapier. Berlin. Online verfügbar unter <https://www.dihk.de/resource/blob/24872/fd2c89df9484cf912199041a9587a3d6/dihk-faktenpapier-wasserstoff-data.pdf>, zuletzt geprüft am 14.11.2020.

Die Linke, SPD, Bündnis 90/Die Grünen (Thüringer Landesregierung) (2014): Koalitionsvertrag zwischen den Parteien Die Linke, SPD und Bündnis 90/Die Grünen. Erfurt. Online verfügbar unter www.die-linke-thueringen.de/fileadmin/LV_Thueringen/dokumente/r2g-koalitionsvertrag-final.pdf, zuletzt geprüft am 26.02.2021.

Ebert M. et al. (2016): Gutachten zur Vorbereitung einer Energie- und Klimaschutzstrategie für Thüringen. Hg. v. Leipziger Institut für Energie. Leipzig.

Europäische Kommission (Hg.) (2020): A Hydrogen Strategy for a climate neutral Europe. Brüssel. Online verfügbar unter https://ec.europa.eu/commission/presscorner/api/files/attachment/865942/EU_Hydrogen_Strategy.pdf.pdf, zuletzt geprüft am 05.10.2020.

FfE - Forschungsstelle für Energiewirtschaft e. V. (Hg.) (2019): Elektrolyse – Die Schlüsseltechnologie für Power-to-X. Online verfügbar unter <https://www.ffe.de/publikationen/pressemitteilungen/892-elektrolyse-die-schlüsseltechnologie-fuer-power-to-x>, zuletzt geprüft am 06.12.2020.

Frankfurter Allgemeine Zeitung (FAZ) (2020): General Motors sagt Zusammenarbeit mit Nikola ab. Online verfügbar unter <https://www.faz.net/aktuell/wirtschaft/general-motors-sagt-strategische-zusammenarbeit-mit-nikola-ab-17078702.html>, zuletzt geprüft am 16.12.2020.

Fraunhofer-Institut für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik (Fraunhofer IEE) (2020): Wasserstoff im zukünftigen Energiesystem: Fokus Gebäudewärme. Online verfügbar unter https://www.iee.fraunhofer.de/content/dam/iee/energiesystemtechnik/de/Dokumente/Studien-Reports/FraunhoferIEE_Kurzstudie_H2_Gebaeudewaerme_Final_20200529.pdf, zuletzt geprüft am 13.11.2020.

Fuel Cell and Hydrogen Energy Association (FCHEA) (2020): Road Map to a US Hydrogen Economy. Reducing emissions and driving growth across the nation. Washington D.C. Online verfügbar unter <https://static1.squarespace.com/static/53ab1feee4b0bef0179a1563/t/5e7ca9d6c8fb3629d399fe0c/1585228263363/Road+Map+to+a+US+Hydrogen+Economy+Full+Report.pdf>, zuletzt geprüft am 14.11.2020.

Greenpeace Energy (2020): Blauer Wasserstoff. Perspektiven und Grenzen eines neuen Technologiepfades. Online verfügbar unter <https://www.greenpeace-energy.de/fileadmin/docs/publikationen/Studien/blauer-wasserstoff-studie-2020.pdf>, zuletzt geprüft am 13.11.2020.

H2 MOBILITY (2020): Netzausbau live. Der aktuelle Stand für Deutschland. Online verfügbar unter <https://h2.live/>, zuletzt geprüft am 15.02.2020.

Helaba - Landesbank Hessen-Thüringen (Hg.) (2011): Die 100 größten Unternehmen in Thüringen. Frankfurt am Main.

Jentsch, M.F.; Büttner, S. (2019): Dezentrale Umsetzung der Energie- und Verkehrswende mit Wasserstoffsystemen auf Kläranlagen. 160 (6), 28-39. Hg. v. gwf Gas + Energie.

Landesverband Erneuerbare Energien NRW e. V. (LEE-NRW) (2020): Bewertung der Vor- und Nachteile von Wasserstoffimporten im Vergleich zur heimischen Erzeugung. Online verfügbar unter <https://wupperinst.org/fa/redaktion/downloads/projects/LEE-H2-Studie.pdf>, zuletzt geprüft am 16.11.2020.

Nationale Organisation Wasserstoff und Brennstoffzellentechnologie (NOW) (2016): Ergebnisbericht: Studie Wasserstoff-Infrastruktur für die Schiene. Berlin.

Norddeutscher Rundfunk (NDR) (2019): Haben Wasserstoffautos eine Chance? Online verfügbar unter <https://www.tagesschau.de/wirtschaft/boerse/wasserstoffautos-101.html>, zuletzt geprüft am 26.02.2021.

Plank-Wiedenbeck, Uwe; Jentsch, Mark; Lademann, Frank; Büttner, Sebastian; Meyer, Nicole; Ivanov, Anton (2019): Schlussbericht Machbarkeitsstudie Pilotprojekt Einsatz von H2BZ-Triebwagen in Thüringen. Bauhaus-Universität Weimar. Weimar.

Schmid et al. (2011): Pumpspeicherkataster Thüringen. Ergebnisse einer Potentialanalyse. Thüringer Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Technologie (TMWAT). Erfurt.

Shell Deutschland Oil GmbH (Shell) (2017): Energie der Zukunft? Nachhaltige Mobilität durch Brennstoffzelle und H2. Hamburg. Online verfügbar unter https://www.shell.de/medien/shell-publikationen/shell-hydrogen-study/_jcr_content/par/toptasks_e705.stream/1497968981764/1086fe80e1b5960848a92310091498ed5c3d8424/shell-wasserstoff-studie-2017.pdf, zuletzt geprüft am 26.02.2021.

Statista (2020): Entwicklung der zeitgenössischen Jahresdurchschnittspreise von Rohöl bis 2019. Online verfügbar unter <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/245941/umfrage/entwicklung-der-zeitgenoessischen-jahresdurchschnittspreise-von-rohoel/>, zuletzt geprüft am 13.11.2020.

Statistisches Bundesamt (DESTATIS) (2019): Statistische Ämter des Bundes und der Länder.

ThEGA - Thüringer Energie- und GreenTech-Agentur GmbH (Hg.) (2019): Wasserstoff in Thüringen - Ausgangslage, Potentiale und Handlungsoptionen. Bauhaus-Universität Weimar. Online verfügbar unter https://www.thega.de/fileadmin/user_upload/Publikationen/Wasserstoffmobilitaet/Wasserstoff_in_Thueringen-final.pdf, zuletzt geprüft am 16.12.2020.

Thüringer Landesamt für Landwirtschaft und Ländlichen Raum (TLLLR) (2015): Landwirtschaftliche Biogasanlagen in Thüringen. Jena.

Thüringer Landesverwaltungsamt (TLVwA) (2018): Bestandsliste aller zum 31.12.2017 in Thüringen registrierten Windkraftanlagen. Weimar.

Thüringer Ministerium für Umwelt, Energie und Naturschutz (TMUEN) (2019): Beseitigen von kommunalem Abwasser im Land Thüringen - Lagebericht 2019 nach Artikel 16 der EG-Richtlinie über die Behandlung von kommunalem Abwasser (91/271/EWG). Erfurt.

Toshiba Energy Systems & Solutions Corporation (Toshiba ESS) (2020): The world's largest-class hydrogen production, Fukushima Hydrogen Energy Research Field (FH2R) now is completed at Namie town in Fukushima. Online verfügbar unter https://www.toshiba-energy.com/en/info/info2020_0307.htm, zuletzt geprüft am 16.12.2020.

umlaut energy GmbH (umlaut) (2020): Wasserstoff-Studie. Chancen, Potentiale & Herausforderungen im globalen Energiesystem. Hamburg. Online verfügbar unter https://www.umlaut.com/uploads/documents/2020_umlaut_wasserstoff-studie_2020-10-15-072559.pdf, zuletzt geprüft am 14.11.2020.

Umweltbundesamt (UBA) (2016): Klimaschutz und regenerativ erzeugte chemische Energieträger. Infrastruktur und Systemanpassung zur Versorgung mit regenerativen chemischen Energieträgern aus in- und ausländischen regenerativen Energien. Dessau-Roßlau. Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/climate_change_08_2016_klimaschutz_und_regenerativ_erzeugte_chemische_energietae.pdf, zuletzt geprüft am 26.02.2021.

Umweltbundesamt (UBA) (2019a): CO₂-Bepreisung in Deutschland. Ein Überblick über die Handlungsoptionen und ihre Vor- und Nachteile. Dessau-Roßlau. Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/factsheet_co2-bepreisung_in_deutschland_2019_08_29.pdf, zuletzt geprüft am 05.12.2020.

Umweltbundesamt (UBA) (2019b): Energiebedingte Emissionen. Dessau-Roßlau. Online verfügbar unter www.umweltbundesamt.de/daten/energie/energiebedingte-emissionen, zuletzt geprüft am 26.02.2021.

Copyright:

Diese Veröffentlichung ist urheberrechtlich geschützt. Der Nachdruck und die fotomechanische Wiedergabe sind dem Herausgeber vorbehalten.

Impressum

Herausgeber: Thüringer Ministerium für Umwelt,
Energie und Naturschutz (TMUEN)
- Stabsstelle Presse, Öffentlichkeitsarbeit, Reden -
Beethovenstraße 3
99096 Erfurt
Telefon: 0361 57 39 11 933
Telefax: 0361 57 39 11 044
www.umwelt.thueringen.de
poststelle@tmuen.thueringen.de



Erarbeitung: Thüringer Energie- und GreenTech-Agentur GmbH (ThEGA)
Mainzerhofstraße 10
99084 Erfurt
Deutschland

Druck: nur als pdf-Datei veröffentlicht

Stand: April 2021